

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Optická kontrola kompletace plastových dílů
průmyslového výrobku**

**Optical Inspection of Plastic Part Assembly of
Industrial Product**

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Roman Kulštejn

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Optická kontrola kompletace plastových dílů průmyslového výrobku
Optical Inspection of Plastic Part Assembly of Industrial Product

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Při sériové výrobě průmyslových výrobků je zapotřebí provádět kontrolu kvality hotového výrobku. Pro vizuální kontrolu se používá technologie nazývaná „strojové vidění“. Průmyslová kamera spolu s vhodným objektivem a osvětlením sejme obraz výrobku a přenesení jej do počítače. V počítači je pak nasnímaný obraz z kamery zpracován pomocí SW pro strojové vidění. Takový SW dokáže nasnímaný obraz vyhodnotit dle požadavků zadavatele. Diplomová práce se zabývá výběrem vhodných komponent testeru a zejména vývojem SW komponent pro výše popsany typ testeru.

Body zadání:

1. Rozbor problematiky zpracování obrazu v oblasti průmyslového testování.
2. Popis vývojových prostředí/technologií používaných pro návrh kamerových systémů - přehled a charakteristika.
3. Rozbor funkce a popis algoritmů strojového vidění pro detekci požadovaných kvalitativních parametrů v procesu automatického vyhodnocování.
4. Teoretický rozbor a návrh řešení kamerové inspekce.
5. Návrh a vývoj SW komponent aplikace v programovacím prostředí LabVIEW.
6. Nasazení a odladění vyvinutých komponent v průmyslové praxi.
7. Ověření funkce a zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 1934891088.
- [3] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabView advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2007, 499 s. ISBN 0849333253.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

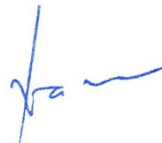
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 13. 4. 2018


Kulštejn Roman

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“



V Ostravě dne... 23. IV. 2018

.....
Harhaj Michal

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D a spolupracovníkům z firmy ATEsystem s.r.o. za cenné rady a pomoc při zpracování této diplomové práce.

Dále chci poděkovat své rodině za oporu a zázemí.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací kompletního kamerového systému pro optickou kontrolu kvality výrobku a nasazení v průmyslových podmínkách. Cílem je doplnění výrobního stroje o optický měřicí systém, zahrnující vytvoření snímací scény a aplikaci pro kontrolu kvality výrobků. Vytvořená aplikace komunikuje s PLC, které je řídícím prvkem celého stroje a spouští kamerové testy.

Aplikace byla vytvořena v grafickém programovacím jazyku LabVIEW, za použití knihoven IMAQ Vision pro zpracování obrazu.

Klíčová slova

Strojové vidění, kamerový systém, zpracování obrazu, optická soustava, LabVIEW, IMAQ Vision

Abstract

This thesis is about design and realization of complete camera vision system for machine processing of optical control system. The main goal is to implement the vision system to a machine, which is controled with a programable logic controler (PLC) and to provide test results of measured pieces.

Aplication was created in graphical programing language of G type, LabVIEW.

Key words

Machine vision, camera system, image processing, optical systém, LabVIEW, Imaq Vision

Obsah

Obsah.....	7
Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam ilustrací.....	10
Úvod	12
1 Zpracování obrazu v průmyslu	13
1.1 Kamery.....	14
1.2 Optická soustava	17
1.3 Osvětlení	21
1.4 Komunikační rozhraní kamer	23
2 Vývojové prostředí.....	25
2.1 LabVIEW	25
2.2 Vision Builder for Automated Inspection.....	26
2.3 Matlab	27
2.4 Visual C#	28
2.5 OpenCV	28
3 Algoritmy pro strojové vidění.....	29
3.1 Prahování	29
3.2 Hranová detekce	30
3.3 Eroze a dilatace	31
4 Rozbor a návrh řešení kamerové inspekce.....	33
4.1 Požadavky zákazníka	33
4.2 Studie proveditelnosti	34
4.3 Návrh snímané scény	35
4.4 HW popis stroje	36

5	Návrh a vývoj aplikace	37
5.1	Modularita aplikace	37
5.2	Vývojový diagram aplikace	38
5.3	Testy před svařováním výrobku.....	39
5.4	Testy po svařování výrobku.....	40
5.5	Komunikace mezi PC a PLC	41
5.6	Spuštění testovací sekvence	45
5.7	Test měření mezery	46
5.8	Náhled aplikace.....	50
6	Nasazení a odladění vytvořené obrazové inspekce	52
6.1	Montáž HW.....	52
6.2	Nastavení kamer	52
6.3	Oživení aplikace	52
6.4	Komunikace s PLC	53
6.5	Parametry pro snímání	53
6.6	Nastavení pro měření mezery	54
6.7	Nastavení pro měření kvality sváru	55
6.8	Kontrola založení	55
6.9	Nasazení aplikace	56
6.10	Předání zákazníkovi	56
	Závěr	57
	Seznam použité a studované literatury	58
	Přílohy	61

Seznam použitých symbolů a zkratek

CCD	Zařízení s vázaným nábojem (Charge-Couple Device)
CMOS	Technologie výroby integrovaných obvodů (Complementary Metal-Oxide Semiconductor)
DLL	Dynamická knihovna systému Win (Dynamic Link Library)
GUI	Grafické uživatelské rozhraní (Graphical User Interface)
HW	Zařízení, které je využito pro běh SW aplikace (Hardware)
JAVA	Programovací jazyk
LabVIEW	Programovací prostředí (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench)
MATLAB	Vývojové prostředí (MATrix LABoratory)
NI	National Instruments
OS	Operační systém počítače (Operating System)
PC	Osobní počítač (Personal Computer)
PG	Dílčí část aplikace (Plugin)
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
POE	Napájení po datovém síťovém kabelu (Power Over Ethernet)
RGB	Barevný prostor složený ze tří barev: červená, zelená, modrá
ROI	Oblast zájmu (Region Of Interest)
SubVI	Podprogram VI (Virtual Instrument)
SW	Programové vybavení (Software)
TCP	Protokol transportní vrstvy (Transmission Control Protocol)
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
VI	Virtuální přístroj (Virtual Instrument)

Seznam ilustrací

Obr. 1 Standartní kamerový řetězec [13]	13
Obr. 2 Vodotěsná inteligentní kamera NI 1774 [7].....	14
Obr. 3 Bayerova maska [8]	15
Obr. 4 Srovnání jednoduché (vlevo) a víceprůchodové (vpravo) debayerizace [9].....	15
Obr. 5 Princip 3CCD kamery [38]	16
Obr. 6 Elektromagnetické spektrum [10].....	16
Obr. 7 Ohnisková vzdálenost [12].....	17
Obr. 8 Parametry optické soustavy [11].....	17
Obr. 9 Lamelová clona [35]	18
Obr. 10 Použití širokoúhlého (nahore) a telecentrického (dole) objektivu [14][15].....	18
Obr. 11 Srovnání ideálního zobrazení se sférickými vadami objektivu [16]	19
Obr. 12 Vinětace objektivu [17].....	19
Obr. 13 Použití polarizačního filtru [14].....	20
Obr. 14 Spektrum pásmové filtru BP 490-180 [19]	20
Obr. 15 Protilehlé barvy jsou vzájemně absorbovány [20]	21
Obr. 16 Základní uspořádání osvětlovače vzhledem k objektu [36]	21
Obr. 17 Ukázka osvětlení jasné pole, temné pole a kopulovité světlo [24]	22
Obr. 18 Srovnání komunikačních rozhraní [21].....	23
Obr. 19 Tvary komunikačních konektorů [21].....	24
Obr. 20 Části virtuálního instrumentu (VI) [3]	25
Obr. 21Náhled na inspekční zobrazení (vlevo) a vývojové prostředí (vpravo) [29].....	26
Obr. 22 Simulink – detekce hrany v obrázku	27
Obr. 23 Detekce hran funkcí Edge Detection.....	27
Obr. 24 Detekce geometrických tvarů s knihovnou AForge.NET [32]	28
Obr. 25 Srovnání výsledků globálního a lokálního prahování [34]	29
Obr. 26 Příklady strukturních elementů [37].....	31
Obr. 27 Příklad dilatace [37]	32
Obr. 28 Příklad eroze [37].....	32
Obr. 29 Nesvařený a svařený výrobek	33
Obr. 30 Detekce mezery mezi díly	34
Obr. 31 Nesvařený (vlevo) a svařený výrobek (vpravo)	34
Obr. 32 Pracovní prostor stroje s kamerovou inspekcí	35
Obr. 33 Přehledové schéma.....	36

Obr. 34 Přehled modulů v aplikaci.....	37
Obr. 35 Struktura testovací sekvence.....	38
Obr. 36 Struktura testu před svařením	40
Obr. 37 Struktura testu po svaření.....	41
Obr. 38 Návrh čtení a zápisu datových bloků v PLC.....	42
Obr. 39 Přehled binárních signálů mezi PLC a PC	42
Obr. 40 Testy končící chybou	43
Obr. 41 Schéma datových bloků v PLC.....	43
Obr. 42 Zápis signálu typu string.....	45
Obr. 43 Start testu	45
Obr. 44 Blokový diagram měření mezery	46
Obr. 45 Pořízení snímku.....	47
Obr. 46 Funkce NI: IMAQ Rake 3.....	47
Obr. 47 Hledání hrany.....	48
Obr. 48 Výpočet mezery	49
Obr. 49 Vykreslení dat do obrázku	49
Obr. 50 Ukázka vykreslování dat do obrázku	50
Obr. 51 Hlavní okno aplikace	51
Obr. 52 Komunikace s PLC	53
Obr. 53 Parametry hrany v programu Vision Builder	54
Obr. 54 OK svár (nahore), NOK svár (dole).....	55
Obr. 55 Správně založený (vlevo) a nesprávně založený výrobek (vpravo)	56

Úvod

V dnešní průmyslové výrobě je kladen veliký důraz na snižování výrobních nákladů a zrychlování výroby. Současně je, ale nutné zvyšovat kvalitu vyráběných produktů, protože požadavky na kvalitu výroby stále rostou. Důsledkem těchto trendů je provádění důkladné a velice rychlé optické kontroly vyráběných produktů. Při rychlé sériové výrobě již není v lidských silách provádět optickou kontrolu kvality a kompletnosti výroby lidským zrakem. Právě v těchto případech se dnes začíná hojně používat strojové vidění, v angličtině nazývané Machine Vision. V češtině se také někdy používá pojem počítačové vidění.

Strojové vidění spočívá v použití průmyslové kamery společně s vhodně zvoleným objektivem a osvětlením snímané scény, následně pořízený obraz se za použití vhodného komunikačního rozhraní dopraví do počítače. V počítači se provede pomocí vhodných algoritmů vyhodnocení nasnímaného obrazu a vyhodnocení, zda kontrolovaný výrobek odpovídá předem stanoveným požadavkům. Mezi základní úlohy patří různé měření rozměrů, počítání objektů v obraze, rozpoznávání barvy, nalezení hran v obraze, čtení čárových a maticových kódů.

V teoretické části práce je proveden rozbor hardwarových možností, problematiky optických testů v průmyslové výrobě, popis používaných komponentů, ze kterých je složena optická soustava a jejich vlastností. Následně je popsáno vývojové prostředí a popis základních algoritmů používaných ve strojovém vidění.

Hlavním cílem této práce je návrh a implementace aplikace pro kontrolu kvality polotovaru, který je následně použit k výrobě automobilových světel. Aplikace je nasazena na laserové svářečce, kde se svařuje plastová optická čočka s plastovým pouzdem světla. Základ optické kontroly spočívá v kontrole slícování před svařováním a také následné kontrole provedených svárů. Aplikace je navržena v grafickém vývojovém prostředí LabVIEW dle požadavku zákazníka. Navržený systém se již aktuálně používá ve výrobním procesu.

V závěru je provedeno shrnutí dosažených výsledků a získaných zkušeností v oblasti strojového vidění.

1 Zpracování obrazu v průmyslu

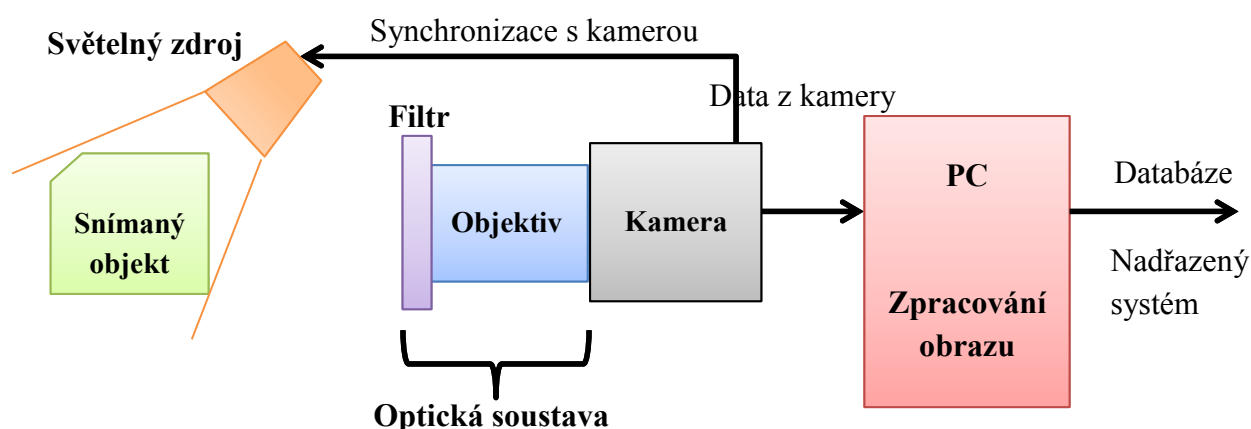
Průmyslové systémy pro automatické zpracování obrazu, které ke své činnosti využívají kamery, jež jsou nazývané průmyslové vidění, slouží jako vyhodnocovací systémy pro vykonání automatické činnosti. Tato činnost může spočívat ve vyřazení vadných produktů z výroby, ke kontrole kompletnosti výrobku, upozornění obsluhy na chybu nebo počítání vyrobených kusů. [1]

Hlavním důvodem zavádění strojového vidění je nahrazení subjektivního posuzování člověkem, kdy dochází k chybám způsobeným například nepozorností, díky čemuž se automatický proces stává robustnějším. Tím, že v aplikacích průmyslového vidění jsou přesně stanovené rozhodovací limity je zaručena vysoká konzistence vyráběných produktů. [2]

Strojové vidění je v současné době nejpoužívanější v oblastech kontroly výroby a automatizace na výrobních linkách. Kromě výrobních procesů se dnes strojové vidění hojně používá v dopravě pro měření rychlosti, mýtné brány a k autonomnímu řízení dopravy. Další užití je také v bezpečnostním sektoru pro identifikaci osob a vozidel. Pro svoji cenovou dostupnost a relativní jednoduchost je dnes strojové vidění implementováno do mnoha dalších oblastí. [1]

Standartní kamerový řetězec je složen z několika částí:

- a) **světelný zdroj**: požadovaným způsobem osvětluje snímaný objekt
- b) **optická soustava**: slouží k vykreslení obrazu na světlo-citlivý senzor kamery
- c) **digitalizace**: obraz se v kameře převede do digitální podoby
- d) **komunikační sběrnice**: propojuje kameru s nadřazeným PC
- e) **PC**: provádí vyhodnocení obrazu
- f) **vyvolání akce**: povel řídicímu systému, zpráva operátorovi, komunikace s databází



Obr. 1 Standartní kamerový řetězec [13]

Kromě klasického kamerového řetězce je také možné používat inteligentní kameru (*Obr. 2*), kde již probíhá samotné vyhodnocení obrazu a např. pomocí digitálních výstupů lze přímo ovládat řídicí systém. Výhodou použití inteligentních kamer je značné zjednodušení kamerového řetězce. Nevýhodou inteligentních kamer je omezení výpočetního výkonu vyplývající z použitého hardware a vyšší cena.



Obr. 2 Vodotěsná inteligentní kamera NI 1774 [7]

1.1 Kamery

Kamery musí snímat obraz v požadované kvalitě a poslat ho nadřazenému systému. Výjimkou jsou již zmíněné inteligentní kamery, které provádějí vyhodnocení samostatně. Nejdůležitějším parametrem kamer je spolehlivost, odolnost, v extrémních případech je požadována i vodotěsnost a schopnost pracovat nepřetržitě i několik let. Dnes se již výhradně používají digitální kamery mezi jejichž hlavní výhody, v porovnání s analogovými kamerami, patří větší rozlišení, vyšší snímková rychlost a odolnost proti rušení. [2]

Nejdůležitější částí kamery je obrazový snímač, který je vyrobený z fotocitlivého polovodiče a jeho princip funkce spočívá ve fotoelektrickém jevu. Z polovodičového materiálu jsou uvolňovány elektrony v důsledku dopadajícího elektromagnetického záření (fotonů). Počet takto uvolněných elektronů je přímo úměrný počtu dopadajících fotonů. V polovodičové struktuře se tyto elektrony podílí na jeho vodivém stavu. Maximální počet elektronů, které je schopná pojmout fotocitlivá buňka je nazývána kapacita buňky, ale saturační kapacita je omezena lineární odezvou senzoru. Počet elektronů, které naplní buňku, není vždy stejný, rozsah těchto rozdílů určuje hladinu šumu. I když na čip nedopadá světlo, uvolňují se v čipu elektrony, které vytvářejí tzv. temný šum. [13]

Podle tvaru a funkce čipu dělíme kamery na plošné a řádkové.

Plošné kamery

Plošné kamery, někdy nazývané maticové kamery, mají obdélníkový snímací čip. Obsahují klasický CCD nebo CMOS snímač, stejný jako u fotoaparátu. Tyto kamery jsou vhodné pro objekty, které se nepohybují nebo pouze pomalu. [1]

Řádkové kamery

Snímač této kamery je tvořen pouze jednou řadou obrazových bodů (pixelů). Řádková kamera ke snímání obrazu potřebuje, aby se snímáný předmět pod kamerou pohyboval konstantní rychlostí a

výsledný obraz se pak skládá v nadřazeném systému. Výhodou tohoto uspořádání je snímání rychle se pohybujících předmětů s vysokým rozlišením. [13]

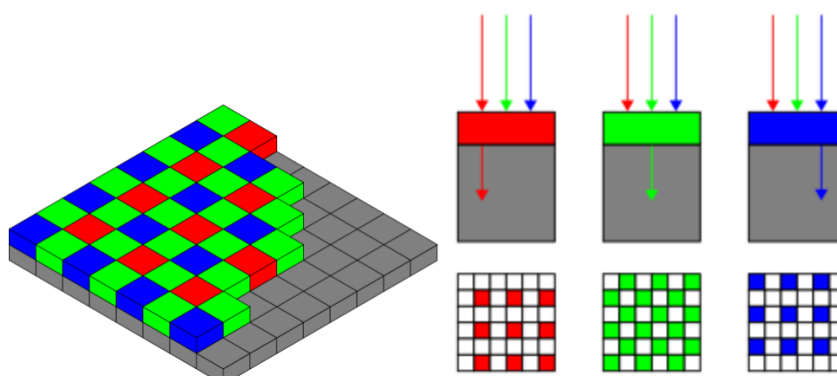
Ve strojovém vidění se nejčastěji používají černobílé – monochromatické kamery, protože pro velkou část aplikací je černobílý obraz naprosto dostačující. Pouze v aplikacích, kde je nutné rozeznávat barvy, se používají kamery barevné.

Monochromatické kamery

Mezi výhody těchto kamer patří menší objem dat, obvykle je jeden pixel zakódován do 8 bitů, což reprezentuje 256 hodnot odstínu šedé. Černobílé kamery mají dále větší světelnou citlivost než kamery barevné, a proto jsou vhodné pro horší světelné podmínky.

Barevné kamery

Pixel barevné kamery je obvykle zakódován do 32 bitů a to tak, že každá barva (červená, zelená, modrá) je reprezentována 8 bity a poslední část 8 bitů náleží pro alfa kanál, který udává průhlednost pixelu. Mezi nejjednodušší barevné kamery, dle typu provedení, patří jednočipové kamery, kde je nad každým pixelem čipu barevný filtr. Uspořádání těchto čipů je nejčastěji dle Bayerovy masky, která má dvojnásobek zelených pixelů, což vychází z citlivosti lidského oka na vlnové délky kolem 500nm, viz Obr. 3. [9]



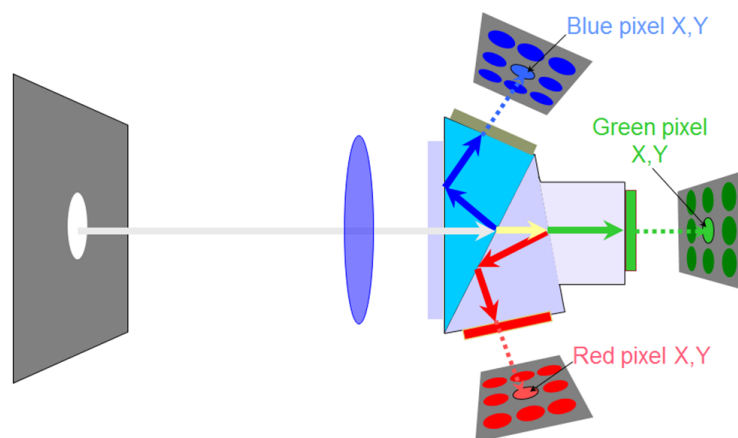
Obr. 3 Bayerova maska [8]

Při použití Bayerovy masky, kde každý pixel obsahuje informaci jedné barvy, je nutné následně dopočítat pro každý pixel chybějící barvy z okolních pixelů. Tato činnost je nazývána debayerizací a může se provádět přímo v kameře, v interním FPGA poli nebo následně v počítači, kde probíhá zpracování obrazu (využívá cca 10% CPU). Jedná se o interpolaci z okolních pixelů a každý výrobce používá svůj systém výpočtu. Nevýhodou použití této Bayerovy masky jsou falešné barevné přechody, zvláště na hranách snímaných objektů, viz Obr. 4. [9]



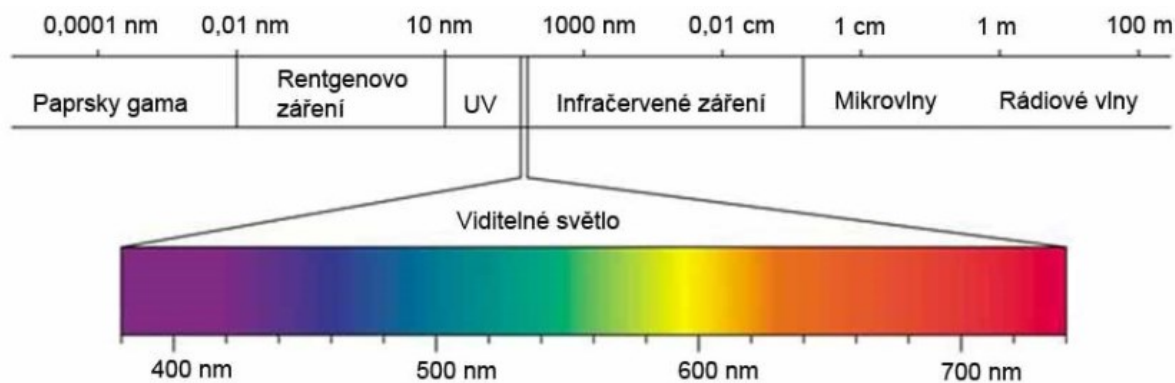
Obr. 4 Srovnání jednoduché (vlevo) a víceprůchodové (vpravo) debayerizace [9]

Princip vícečipové kamery spočívá v tom, že každý čip zpracovává každou barvu zvlášť použitím optického hranolu, který rozdělí barevné spektrum na jednotlivé čipy, viz *Obr. 5*. Jednotlivé čipy jsou na optický hranol přesně usazeny a výsledný obraz je složen ze všech tří čipů. [38]



Obr. 5 Princip 3CCD kamery [38]

Dnes je možné používat i více než tři čipové kamery, které jsou kromě čipů pro červenou, zelenou a modrou barvu vybaveny čipem, který snímá i blízká spektra a to UV spektrum nebo infračervené spektrum (*Obr. 6*). Tyto kamery se ve strojovém vidění používají ve speciálních aplikacích, nejčastěji ke kontrole kvality potravin nebo hledání defektů v materiálech. [10]



Obr. 6 Elektromagnetické spektrum [10]

Mezi hlavní výhody více-čipových kamer patří věrnost vykreslených barev, přesnost zobrazení a rozlišení, což je vykoupeno větší velikostí samotné kamery, protože obsahuje více čipů a optický hranol. Další nevýhodou těchto kamer je vyšší pořizovací cena. [9]

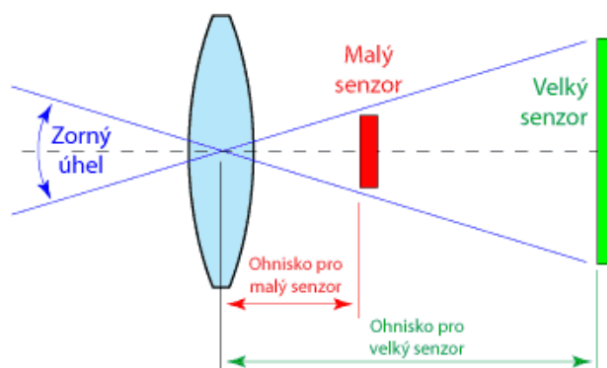
1.2 Optická soustava

Optická soustava je tvořena objektivem složeného ze soustavy optických čoček a clony, který může být doplněn filtrem, jehož úkolem je potlačit určité vlnové délky světla (*Obr. 6*).

Objektivy

V objektivu se nachází optická soustava čoček, jejichž úkolem je soustředit dopad světla na čip kamery. Mezi další části objektivu patří clonový kroužek a ostřicí mechanismus. Volbu objektivu výrazně ovlivňují tyto základní parametry: ohnisková vzdálenost, pracovní vzdálenost, hloubka ostroty a zorné pole. [12]

Ohnisková vzdálenost objektivu je vzdálenost mezi středem optické soustavy a rovinou senzoru, na kterou se vykresluje snímáný objekt. Ohnisková vzdálenost určuje zorné pole a zvětšení, což je patrné z *Obr. 7*.



Obr. 7 Ohnisková vzdálenost [12]

Pracovní vzdálenost je vzdálenost od čela čočky objektivu ke snímanému objektu. S rostoucím zvětšením objektivu se zkracuje pracovní vzdálenost. Objektiv je navržen na určitou pracovní vzdálenost, kdy dojde k tzv. dosažení roviny ostroty a snímáný objekt bude nejostřejší. [1]



Obr. 8 Parametry optické soustavy [11]

Hloubka ostrosti definuje rozmezí mezi nejbližším a nejvzdálenějším bodem, které jsou snímány s přijatelnou ostrostí. Obvyklý poměr hloubky je 1/3 před a 2/3 za nejostřejším bodem snímku.

Zorné pole je maximální plocha, kterou je schopna optická soustava nasnímat. Velikost této plochy ovlivňuje již zmíněná ohnisková vzdálenost a také plocha senzoru (viz Obr. 7). [12]

Clona je důležitou součástí objektivu, která ovlivňuje množství dopadajícího světla na čip. Clona je složená z lamel, které se pohybem prstence uzavírají a otevírají (viz Obr. 9). V průmyslových aplikacích je možné použít i clonový kroužek s pevně stanoveným otvorem místo lamelové clony, čímž se sníží možnost mechanické poruchy při nasazení kamery v náročných podmínkách. [35]

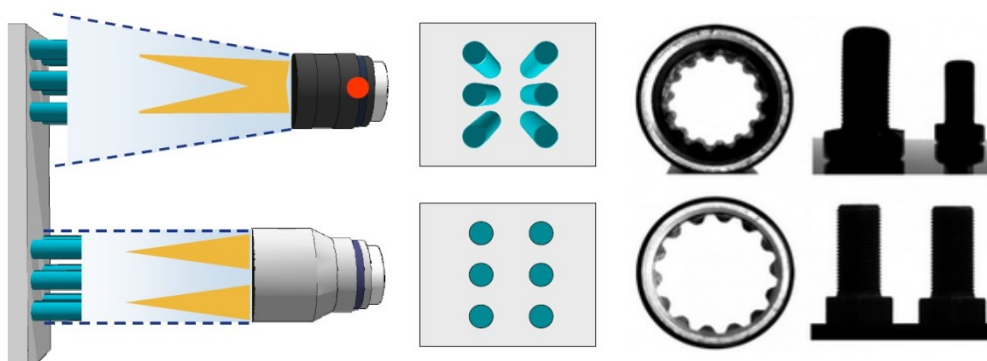


Obr. 9 Lamelová clona [35]

Clona významně ovlivňuje již zmíněnou hloubku ostrosti. S rostoucím clonovým číslem, které je dáno poměrem mezi ohniskovou vzdáleností a průměrem vstupní čočky, se clona přivírá, čímž se zvětšuje hloubka ostrosti. Omezené množství dopadajícího světla na čip kamery je nutné kompenzovat prodloužením času snímání obrazu a naopak. [35]

Ve strojovém vidění se nejčastěji používají tyto objektivy:

- **Širokoúhlé objektivy:** jsou složeny z klasických čoček, jako u objektivu fotoaparátů
- **Telecentrické objektivy:** základní schopnosti těchto objektivů je zobrazování snímáných předmětů s konstantním zvětšením nezávisle na vzdálenosti od objektivu. Do objektivu přichází pouze rovnoběžné paprsky, čímž se eliminuje perspektiva a nedochází ke zkreslení směrem ke kraji objektivu. Tyto objektivy se používají pro mimořádně přesné měření, kontroly nedolití materiálu, prasklin atd. [14]



Obr. 10 Použití širokoúhlého (nahore) a telecentrického (dole) objektivu [14][15]

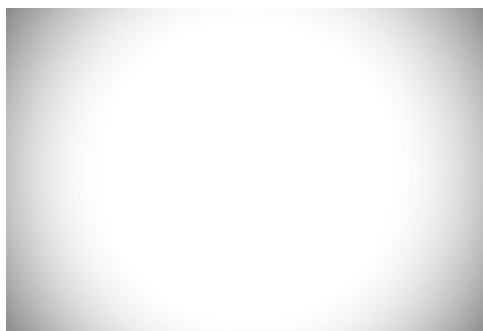
- **Makroobjektivy:** slouží pro snímání velmi malých předmětů s malým zkreslením a vysokým rozlišením. Tyto objektivy se používají pro kontrolu desek plošných spojů a drobných elektronických součástek.

U objektivů ve strojovém vidění se nejčastěji setkáváme se sférickou vadou objektivu, kterou způsobuje konstrukce objektivu a je typické pro širokoúhlé objektivy. Tato vada způsobuje poduškové nebo soudkové zkreslení (viz *Obr. 11*). U objektivů používaných v průmyslu se projevuje pouze soudkové zkreslení, což způsobí zmenšování objektu směrem k okraji. [16]



Obr. 11 Srovnání ideálního zobrazení se sférickými vadami objektivu [16]

Mezi další vadu objektivu patří vinětace, která způsobuje úbytek světla směrem ke krajům obrazu. Tato vada je opět typická pro širokoúhlé objektivy a maximálně se projevuje při plně odcloněném objektivu, z čehož plyne, že ji lze částečně odstranit zvýšením clonového čísla objektivu. [17]



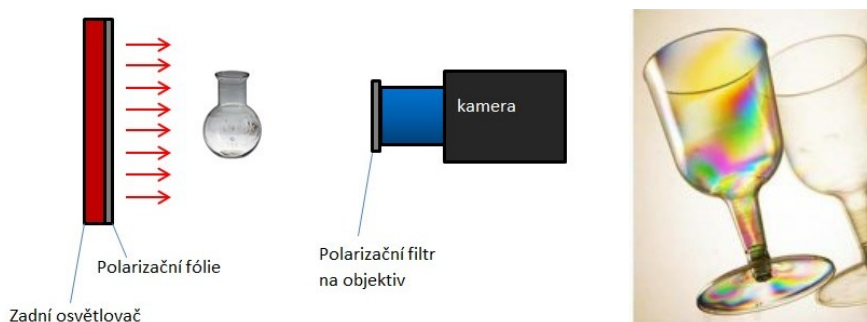
Obr. 12 Vinětace objektivu [17]

Filtry

Filtr je většinou umístěn na konci optické soustavy, která je většinou vybavená závitem pro montáž filtru nebo lze použít připevňovací adaptér. Použití adaptéru ve strojovém vidění není optimální, protože filtr nedosedá přesně na objektiv a vlivem prachu nebo vibrací může dojít ke změně optických podmínek, které negativně ovlivní celou aplikaci. [14]

Ve strojovém vidění se používají filtry pro potlačení barevných vad na čočkách, zvýraznění barev, odstranění parazitního světla, odstranění odlesků, zvýraznění vlastností materiálu, snížení množství světla a ochrany kamery.

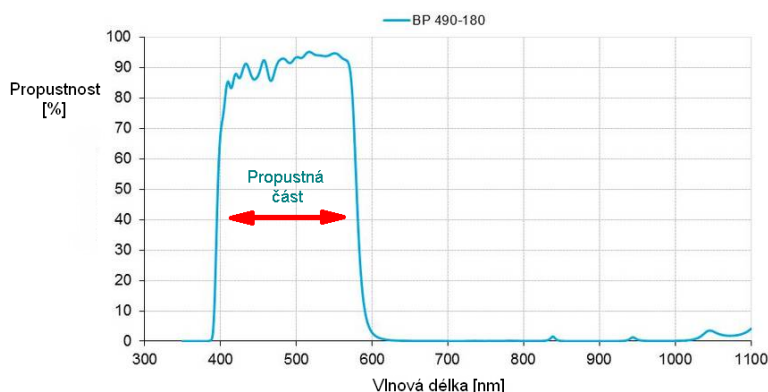
Mezi nejpoužívanější patří polarizační filtry, které jsou schopné odstranit odlesky na snímaných objektech. Filtrem lze otáčet a tím zvolit, která rovina vlnění světla bude propuštěna. Použitím filtru je, ale nutné prodloužit expoziční čas. Při použití polarizačního filtru (nejčastěji polarizační fólie) pro světlo je možné například sledovat vnitřní napětí v transparentních materiálech. Princip spočívá v tom, že při výstupu světla přes polarizační fólii je světlo polarizováno v jedné rovině, ale místa s vnitřním pnutím tuto polarizaci stočí. Tím, že je na kameře také použit polarizační filtr se tyto místa zobrazí.



Obr. 13 Použití polarizačního filtru [14]

Mezi další velice často používané filtry patří šedé filtry, někdy nazývané neutrální. Tyto filtry snižují propustnost světla v celém viditelném spektru, čímž sníží jas obrazu a neovlivní se hloubka ostroty. Filtrem ovlivňujeme množství světla, které dopadne na snímač tak, aby nebyl přesaturován, což by mohlo vést v extrémním případě až k jeho poškození. [18]

Podle toho jakou vlnovou délku filtry propouštějí, je dělíme, na dolní propust (Shortpass), pásmovou propust (Bandpass) a horní propust (Longpass). Příklad filtru se spektrální pásmovou propustí je patrný z Obr. 14. Barevné filtry jsou založené na naprosto stejném principu, propustí pouze vlnovou délku odpovídající barvy. [14]



Obr. 14 Spektrum pásmové filtru BP 490-180 [19]

Ultrafialové a infračervené filtry opět propouštějí jen danou vlnovou délku. S těmito filtry je možné odfiltrovat barvu některých potisků a tak zvýraznit, co se nachází pod potiskem, kontrolovat kvalitu potravin nebo kontrolovat pravost bankovek. [14]

1.3 Osvětlení

Další důležitou součástí kamerového řetězce je osvětlení, protože správné nasvícení má výrazný vliv na kvalitu výsledné obrazové informace. Ve strojovém vidění nemusí být obraz fotograficky dokonalý, ale je nutné zvýraznit hledaný artefakt. Základními požadavky na osvětlení je maximalizace kontrastu v oblasti zájmu a minimální kontrast okolí a samozřejmě robustnost a opakovatelnost měření. [14]

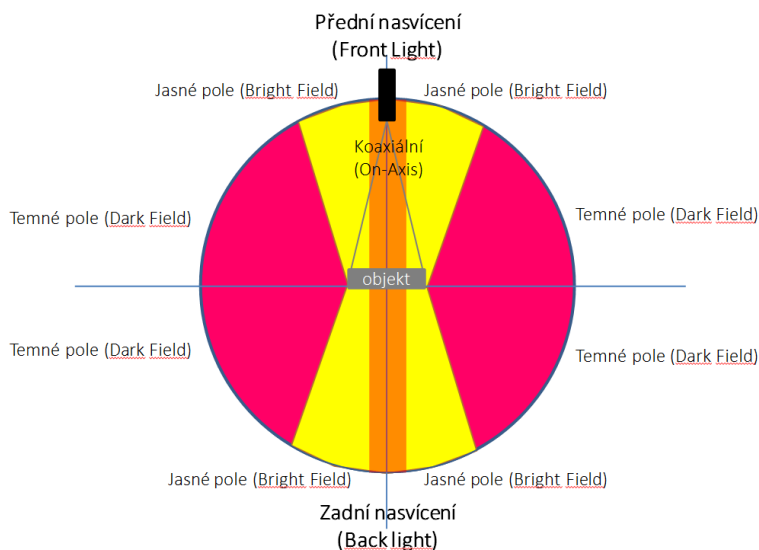
Při výběru světelného zdroje je nutné zohlednit barevnost objektu, spektrální citlivost kamery, emisi tepla, životnost a stálost. [31]

Použitím širokospektrálního světelného zdroje (bílý nebo více barevný), je detekce barev podobná vnímání lidským okem. Toto osvětlení je vhodné pro barevné kamery, ale více se projeví barevné vady optické soustavy, zapříčiněny rozdílným úhlem lomu pro různé vlnové délky. Monochromatické světlo, které používá pouze úzké pásmo vlnových délek, způsobí, že barvy nejsou vykresleny věrohodně, ale dojde ke zvýšení kontrastu. Další výhodou monochromatického osvětlení je eliminace chromatické aberace objektivu. Při volbě barvy světla se vychází z toho, že některé barvy jsou povrchem absorbovány nebo odraženy. Na Obr. 15 jsou uspořádané barvy (tzv. komplementární barvy) tak, že vlnové délky protilehlých barev se při interferenci vzájemně vruší. [20]



Obr. 15 Protilehlé barvy jsou vzájemně absorbovány [20]

Základní uspořádání světelného zdroje kolem snímaného objektu je patrný z Obr. 16.



Obr. 16 Základní uspořádání osvětlovače vzhledem k objektu [36]

Jasně pole (Bright Field)

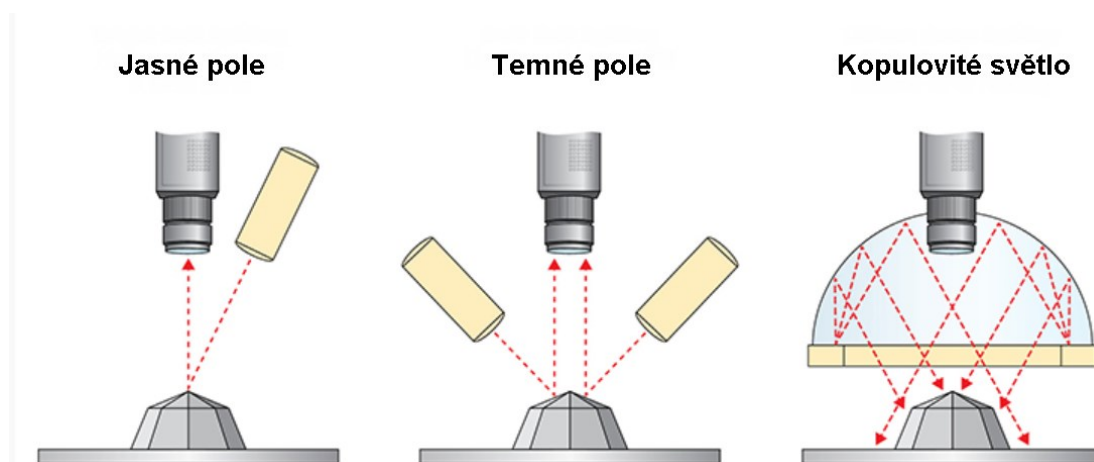
Tento způsob osvětlení patří mezi nejpoužívanější osvětlení a dále jej dělíme na osvětlení s úzkým úhlem a širokým úhlem. Osvětlovač s úzkým úhlem se používá k intenzivnímu osvětlení z větší dálky, kdežto osvětlovač se širokým úhlem se používá k homogennímu osvětlení s větší osvětlenou plochou. [22]

Temné pole (Dark Field)

Tento typ osvětlení se umísťuje těsně nad objekt a používá se pro zvýraznění reliéfů, inspekce desek plošných spojů a kontrolu povrchových vad (např. škrábance). [22]

Kopulovité difuzní světlo (Dome Light)

Světlo má kopulovitý tvar s dírou pro kameru a je charakteristické velikou intenzitou a uniformitou osvětlení, což je dáno jeho konstrukcí. LED diody jsou ve spodní části a svítí do kopule, která odráží difuzní světlo všemi směry. Nejčastější použití tohoto světla je pro snímání lesklých a obalových materiálů. [23]









Obr. 17 Ukázka osvětlení jasně pole, temné pole a kopulovité světlo [24]

Zadní nasvícení (Back Light)

Dalším typem osvětlení je umístění osvětlovače za snímaným objektem tak, aby světelné paprsky dopadaly do kamery. Toto osvětlení se nejčastěji používá pro průsvit objektů (odhalování děr a oslabených míst textilií nebo papíru) a při měření objektů. [23]

1.4 Komunikační rozhraní kamer

Správný výběr rozhraní pro přenos dat z kamery do PC výrazně ovlivní spolehlivost celého systému, výkon a jeho cenu. Základní vlastnosti nejpoužívanějších rozhraní jsou srovnány na Obr. 18. [21]

	DÉLKA KABELÁŽE	MAXIMÁLNÍ PROPUSTNOST	ZÁTĚŽ CPU	VÍCE KAMER	REAL- TIME	PLUG &PLAY	CENA ROZHRANÍ	CENA KABELÁŽE	POUŽITÍ
 USB 2.0	5 m	40 MB/s	>10%	■	■	■	■	■	mimo průmysl
 FireWire	4.5 m	64 MB/s	<1%	■	■	■	■	■	průmysl i mimo
 GigE VISION	100 m	120 MB/s	<10%	■	■	■	■	■	průmysl, ITS
 USB VISION	5 m	350 MB/s	<2%	■	■	■	■	■	průmysl i mimo
 CAMERA Link	10 m	850 MB/s	<1%	■	■	■	■	■	hi- speed, line-scan
 CoaXPress	100 m+	3125 MB/s	<1%	■	■	■	■	■	hi- speed, line-scan

Obr. 18 Srovnání komunikačních rozhraní [21]

Gigabitový Ethernet

Jedná se o nejrozšířenější rozhraní, jeho standardem je GigE Vision z roku 2006, který sjednocuje stávající komunikační protokoly pro průmyslové kamery a umožňuje vzájemnou kompatibilitu kamer, komunikačního hardware a software. Robustní kabeláž s nízkým rušením umožňuje délku vedení až 100 m. Využívá standardní síťové infrastruktury s podporou více kamer. Umožňuje napájení kamery z rozhraní PoE (Power over Ethernet – napájení po datovém kabelu). Jeho nevýhodou je vyšší zatížení CPU než u ostatních rozhraní (3 až 8%). Maximální propustnost dosahuje až 120 MB/s. [21]

USB 3.0

Komunikační rozhraní USB 3.0 je standardní rozhraní pro většinu počítačů, označované jako Superspeed USB. Pro kamerové systémy se používá standart USB 3 Vision, aby bylo možné používat kamery ve strojovém vidění jako real-time zařízení s komunikační rychlostí až 350MB/s. Umožňuje napájet kamery z rozhraní USB 5V/1A. Nevýhodou je omezení délky kabeláže na 5m. [21][25]

Camera link

Robustní komunikační rozhraní pro aplikace s velkou datovou propustností (až 850 MB/s) a možností napájení z kabelu pomocí Power over Camera Link. Toto rozhraní je vhodné pro vysokorychlostní kamery a řádkové kamery. Nevýhodou je potřeba speciální komunikační karty do PC, složitější nastavení mezi kamerou a kartami různých výrobců a také vysoká cena kabeláže. [21][25]

CoaxPress

Hlavní výhodou je vysoká datová propustnost a to až 3125 MB/s, nízká cena kabeláže (obyčejný koaxiální kabel) a její délka (přes 100m). Díky propracovanému komunikačnímu protokolu je možné kameru synchronizovat s velmi nízkou latencí. Nevýhodou stejně jak u rozhraní Camera Link je nutnost použít speciální komunikační kartu do PC. [21]

FireWire

Rozhraní FireWire bylo velmi rozšířené pro všechny digitální kamery. I když toto rozhraní nemá standart pro strojové vidění, existuje řada aplikací, která jej podporují. Výhodou je možnost napájení přímo z rozhraní a nevýhodou nedostatečná propustnost pro některé aplikace. V dnešní době se již nevyvíjí zařízení s tímto komunikačním rozhraním. [21]



Obr. 19 Tvary komunikačních konektorů [21]

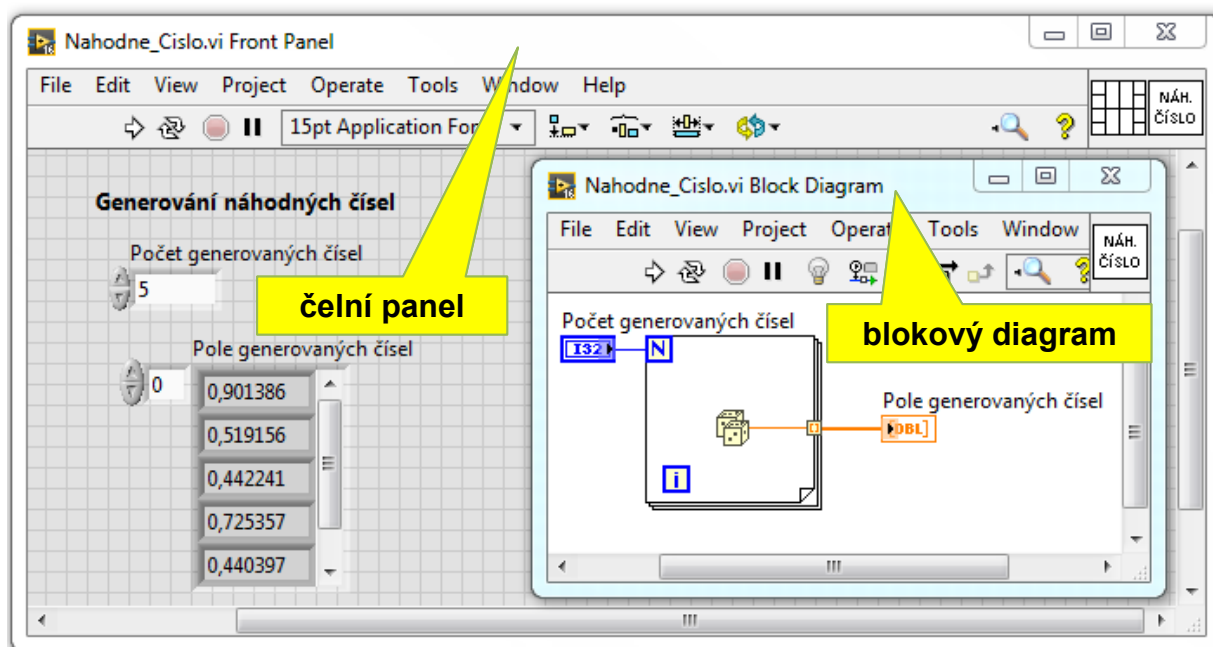
2 Vývojové prostředí

Pro návrhy aplikací strojového vidění je v dnešní době možné využít celou řadu vývojových prostředí. Především se jedná o prostředí, které mají již předem připravené rozšiřující knihovny funkcí s vision zaměřením, což velice zjednoduší a zrychlí vytvoření kamerové inspekce. Např. se jedná o programy: LabVIEW s knihovnou Vision Toolkit, Matlab, Open CV, Visual C#.

2.1 LabVIEW

Programovací jazyk LabVIEW, z anglického Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench (v překladu „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“), je graficky orientovaným programovacím jazykem, vytvořený americkou firmou National Instruments, která patří k největším výrobcům v oblasti virtuální instrumentace. Program se vytváří z grafických objektů a po odladění aplikace je možné vytvořit spustitelnou EXE aplikaci. Tento programovací jazyk byl vytvořen pro technicky zaměřené uživatele, kteří nemají hluboké zkušenosti s klasicky textově orientovaným programováním, proto aby se psaní programů do jisté míry zjednodušilo. Celá filozofie tohoto programovacího jazyku vychází z blokových diagramů. [3][4]

Program, který se vytváří v LabVIEW je nazýván virtuálním instrumentem (VI), protože svým vzhledem a funkcemi připomíná reálné přístroje. VI je vždy složeno z čelního panel (Front Panel) a blokového diagramu (Block Diagram), viz Obr. 20. [3]



Obr. 20 Části virtuálního instrumentu (VI) [3]

V LabVIEW je vykonávání jednotlivých bloků řízeno tokem dat (DataFlow), což znamená, že funkce se začne vykonávat v okamžiku, kdy má všechny vstupní data. Pokud je potřeba garantovat postupné vykonání části kódu, kde není přímá datová vazba, je to nutné programátorsky ošetřit. [3]

Pro zpracování obrazu se nejčastěji používají dva softwarové doplňky:

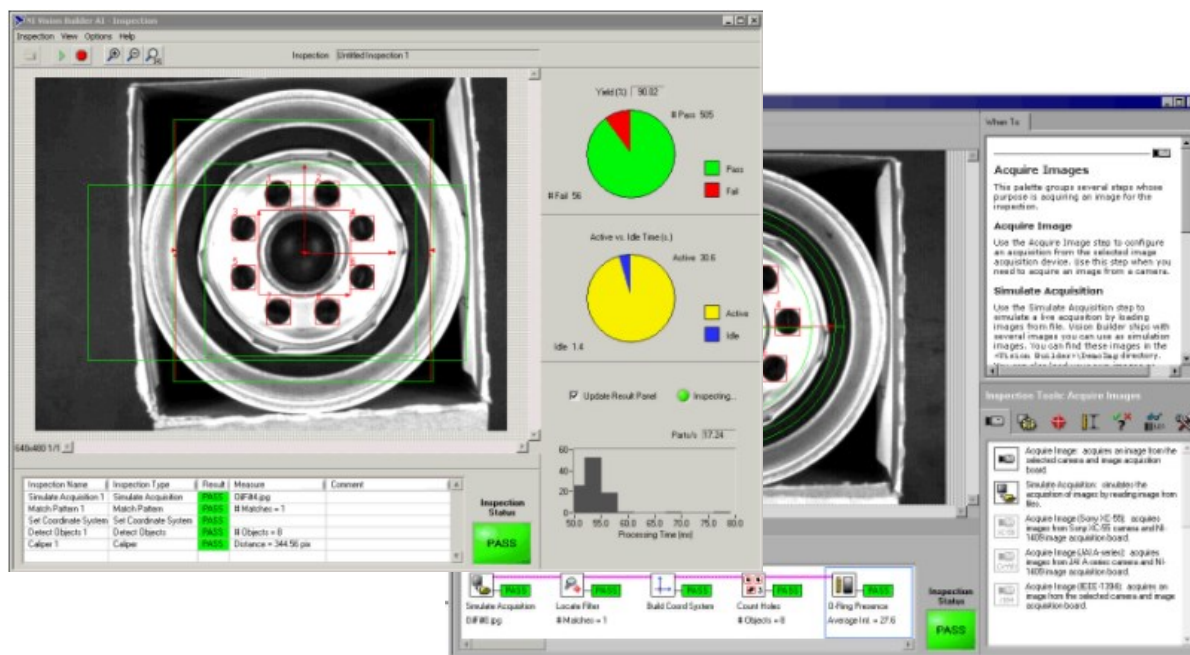
- **Vision Acquisition Software:** ovladače pro získávání, zobrazování, zaznamenávání a sledování snímků z kamer
- **Vision Development Modul:** knihovny pro práci s obrazem

2.2 Vision Builder for Automated Inspection

Vision Builder for Automated Inspection (VBAI) je vývojový SW od společnosti National Instruments. Toto vývojové prostředí slouží k vytváření, testování a samotnému reálnému nasazení aplikace strojového vidění. VBAI je navrženo tak, že tvoření aplikace je velice intuitivní a nevyžaduje programátorské zkušenosti. Dále je zde možné využívat rozhodovací logiku a větvení programu stavovými diagramy. Pomocí digitálních vstupů a výstupů lze jednoduše komunikovat s dalšími zařízeními, např.: PLC nebo osvětlením. [28]

VBAI zahrnuje více než 100 nástrojů pro práci s obrazem jako např.: prahování, hledání vzorů, kalibrace, měření vzdálenosti nebo klasifikace objektů. Dále tento SW podporuje komunikační rozhraní GigE Vision, IEEE1394, USB a Camera Link. [28]

Po vytvoření inspekce, lze vývojové prostředí přepnout do „inspekčního“ režimu, čímž se skryjí vývojové prostředky před běžným uživatelem a zobrazí se pouze programátorem vytvořené uživatelské rozhraní obsahující například více pohledů z kamer či tlačítka pro ovládání aplikace, viz Obr. 21. [29]



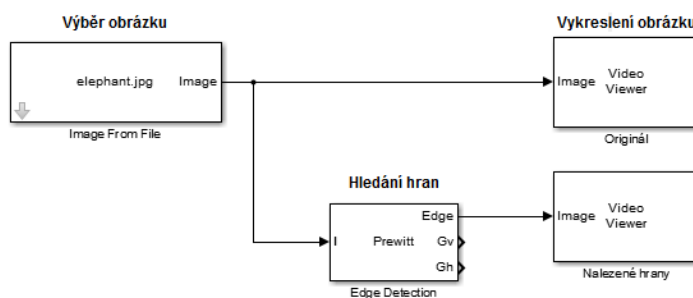
Obr. 21 Náhled na inspekční zobrazení (vlevo) a vývojové prostředí (vpravo) [29]

2.3 Matlab

Program Matlab je produktem společnosti MathWorks, původně byl určen pro matematické účely, ale postupným přidáváním nových funkcí a různých rozšíření má dnes širokou možnost použití. Zejména se používá k inženýrským výpočtům, analýze dat, tvorbě aplikací, modelování a simulacím. [26]

Matlab obsahuje cca 35 knihoven funkcí, které se nazývají Toolboxy, čímž lze Matlab rozšířit o žádanou oblast zájmu. Pro zpracování obrazu se používá Image Processing Toolbox, který zahrnuje komplexní sadu referenčních algoritmů a postupů pro zpracování, analýzu, vizualizaci a vývoj algoritmů. Tento Toolbox v sobě integruje nástroje pro segmentaci obrazu, redukci šumu, geometrické transformace a zpracování 3D obrazů. [26]

Součástí nadstavby Matlabu je také program Simulink, který se využívá zejména k simulaci dynamických systémů. Jedná se o grafické blokové programování s řadou knihoven. Pro zpracování obrazu je zde knihovna Computer Vision System Toolbox, která obsahuje ucelenou řadu funkcí pro práci s obrazem. Díky grafickému rozhraní je práce s tímto programem velice rychlá a intuitivní. Na Obr. 22 je ukázka kódu vytvořená v Simulinku pro detekci hran v obrázku a na Obr. 23 je srovnání originálu a detekovaných hran. [27]



Obr. 22 Simulink – detekce hrany v obrázku



Obr. 23 Detekce hran funkcí Edge Detection

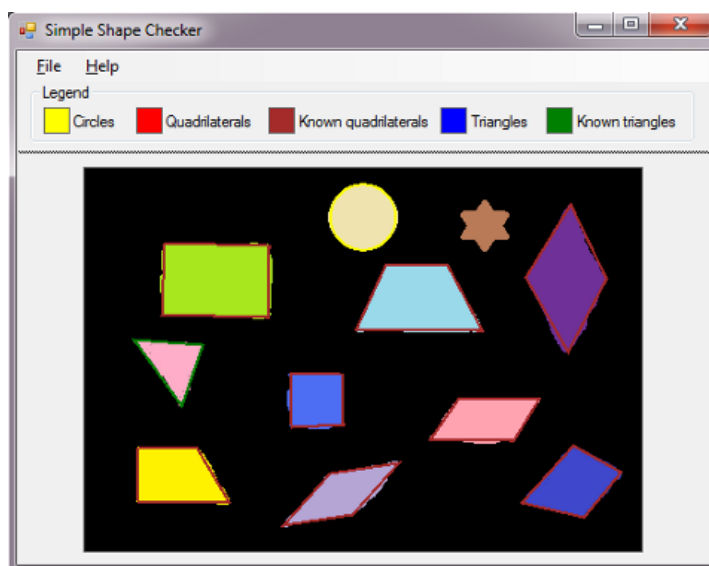
2.4 Visual C#

Visual C# je varianta programovacího jazyku C#, který vytvořila společnost Microsoft k tvorbě aplikací založených na frameworku .NET pro Windows, který je dnes integrován do OS Windows, takže není nutná jeho dodatečná instalace. Protože se jedná o jazyk založený na principech objektově orientovaném programování, lze zde využít programovacích paradigmatů spojených s třídami. Konkrétně se jedná o vlastnosti polymorfismus a dědičnosti. [30]

Oficiálním vývojovým prostředím je Microsoft Visual Studio od společnosti Microsoft. Ve variantě Visual Studio Community lze za určitých podmínek, toto vývojové prostředí používat i pro komerční účely zdarma.

Pro zpracování obrazu se používá framework AForge.NET, součástí jehož knihoven jsou také příklady ve formě exe souboru. AForge.NET neobsahuje ovladače pro kamery, což podmiňuje instalaci dalšího SW. Pro práci s obrazem lze použít tyto knihovny: [31]

- **AForge.Imaging** (základní knihovna) – filtry, transformace, hledání hran...
- **AForge.Vision** – detekce pohybu



Obr. 24 Detekce geometrických tvarů s knihovnou AForge.NET [32]

2.5 OpenCV

OpenCV je knihovna pro programovací jazyky C, C++, která nabízí uživateli sadu předpřipravených objektů v případě programovacího jazyka C++ nebo metod v případě klasického C. Tyto funkce a objekty jsou zaměřeny na zpracování obrazu. Jelikož se jedná o open source knihovnu, která je k dispozici již více než 10 let, mnoho funkcí je již iteračně optimalizováno k vysokému výkonu a jednoduché implementaci. Díky tomu zároveň obsahuje knihovna přes 10 tisíc dílčích, uživatelem aplikovatelných funkcí. Platforma je kompatibilní s OS Windows, Linux, Mac OS, Android a využívají ji i firmy Google nebo Sony. [33]

3 Algoritmy pro strojové vidění

Algoritmy strojového vidění jsou rozsáhlou kapitolou informačních technologií, se specializací na zpracování obrazu. V průběhu vývoje IT tyto algoritmy byly po generace optimalizovány a vytvářeny zkušenými programátory a matematiky. V následující kapitole budou uvedeny základní vybrané algoritmy pro zpracování obrazu.

3.1 Prahování

Prahování obrazu (anglicky thresholding) je jednou z metod segmentace obrazu, založené na hodnocení jasů každého pixelu. Algoritmus prahování potlačí v obraze pixely, jejichž hodnota je nežádoucí, tak, aby „vytáhl“ z obrazu požadovanou informaci. Typicky se jedná například o oddělení pozadí od objektu.

Základní prahování je algoritmus, který projde každý pixel v obraze, a jestli je jeho hodnota menší než požadovaný práh, tak nastaví hodnotu pixelu na nulu. Pro pixely, které splnily podmínku, je jejich hodnota zachována. Nastavení na nulu nemusí být vždy žádoucí, tak se jako alternativní parametr metody přidává hodnota, která přepisuje všechny pixely. Jinou modifikací prahování může být metoda mazání pixelů větších, než které využíváme například při světlém pozadí a tmavém předmětu nebo použití dvojího prahování, v rozsahu hodnot a, b .

Obecně je prahovaný obrázek $g(x, y)$ definován jako: [2]

$$g(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & f(x, y) > T \\ 0 & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

Podle závislosti T prahování dělíme na:

- **Globální prahování:** T závisí pouze na $f(x, y)$
- **Lokální prahování:** T závisí pouze na $f(x, y)$ a $p(x, y)$
- **Dynamické (adaptivní) prahování:** T závisí na prostorových souřadnicích x a y



Obr. 25 Srovnání výsledků globálního a lokálního prahování [34]

3.2 Hranová detekce

Detekce hrany je algoritmem, který na rozdíl od prahování nehledá patřičné úrovně pixelů, ale hledá spojitě oblasti obrazu tak, že přilehlé pixely tvoří hranu. Hrana je tedy složena z jednotlivých bodů, případně křivek v obraze. Pro detekci hrany v obraze používáme této závislosti dvou či více vzájemně propojených pixelů a určujeme přechod jednotlivých intenzit mezi pixely. Je-li tento přechod dostatečně ostrý (gradient dostatečně velký), jedná se o hranu.

Pro matematicky korektní určení hrany hledáme v obraze takové body, kde gradient v ose x a y nabývají maximálních hodnot. Toto určení je, ale výpočetně složité, a proto při reálném řešení tohoto problému se pracuje s výpočetně jednodušším řešením v podobě použití konvoluční masky. Tyto masky jsou většinou odvozeny z principu určení hrany ve frekvenční oblasti a následně přeneseny do diskrétní reálné oblasti.

Použití konvoluční masky zahrnuje výpočet součinu koeficientu s úrovní šedi, které jsou v oblasti pokryté konvoluční maskou. Princip výpočtu pro konvoluční masku 3x3 je:

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix} \quad R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_9 z_9 = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

kde z_i je úroveň šedi v pixelu, který koresponduje s koeficientem masky w_i . [2]

Detekce bodu

Maska pro detekci bodu má tvar hornopropustního filtru. Součet koeficientů v masce je roven 0, v místě, kde je obraz konstantní je odezva masky nulová. Příklad konvoluční masky pro detekci bodu (Laplaceuv operátor): [2]

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Detekce čar

Pro detekci čar je princip obdobný jako při detekci bodu, ale můžeme dle použité masky vybrat detekci čar určitého směru, pro nalezení „nejsilnější čáry“ lze použít všechny masky opakovaně. Typickou maskou pro určení hrany v obraze je Sobelův operátor:

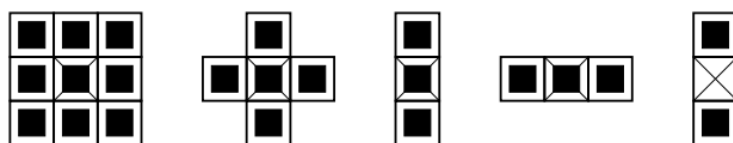
$$h_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad h_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad h_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 2 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Sobelův operátor se často používá pro detekci vodorovných a svislých hran v obraze, což detekují masky h_1 a h_2 . [2]

3.3 Eroze a dilatace

Jedná se o základní operace matematické morfologie. Matematická morfologie je vědní obor zabývající se naukou o tvaru. Obě operace předpokládají existenci tzv. strukturního elementu, a jejich aplikace je převážně vztažena na binární obraz. Pod pojmem binární obraz si představujeme takovou funkci, které každému pixelu o souřadnici X a Y přiřazuje hodnotu 1 nebo 0. Typickým převodem do binárního obrazu je prahování.

Strukturní element je podobný konvoluční masce, taktéž převedený do binární podoby. Operace dilatace i eroze slučují tento strukturní element spolu s dílčími množinami původního obrazu a pro každou souřadnici X a Y určuje novou výchozí hodnotu obrazu.



Obr. 26 Příklady strukturních elementů [37]

Dilatace je proces předpokládající sloučení těchto dvou množin, kde nově vzniklá množina je množina samých pozitivních hodnot a operace eroze naopak hledá alespoň jeden výskyt kladné hodnoty. Při zpracování obrazu většinou nepoužíváme obě funkce odděleně, ale v sekvenčním kombinačním provedení. Příkladem je provedení dilatace a následné eroze, se stejným strukturním elementem, což má za následek odstranění nadbytečných artefaktů v obraze.

Dilatace

Dilatace zvětšuje objekty, proto se používá pro zaplňování děr a zálivů. Dilatací dochází ke skládání bodů dvou množin pomocí vektorového součtu. Dilatace $X \oplus B$ je bodovou množinou všech možných vektorových součtů pro dvojici pixelů. Operace je vždy pro jeden prvek z množiny X a jeden z množiny Y .

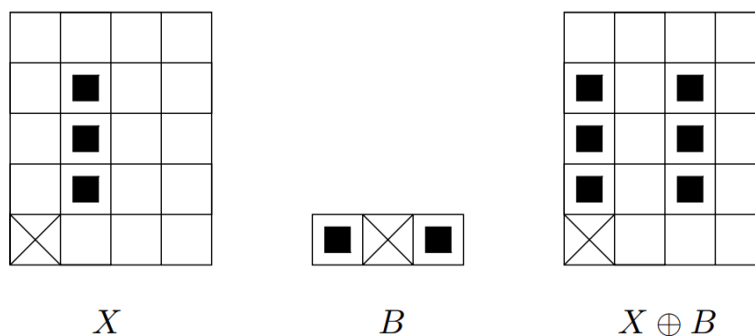
$$X \oplus B = \{z | (\hat{B})_z \cap X \neq \emptyset\}$$

Tato rovnice získá zrcadlový obraz B z originálu a posunutím tohoto obrazu do z . Dilatace X a B je množina všech posunutí z takových, že \hat{B} a X se překrývají alespoň v jednom elementu. B je označován jako strukturální element. [1]

Při operaci dilatace dochází k morfologii dvou množin X a B tak, že nově vzniklá funkce nabývá hodnoty pouze v případě, když jejich průnik je alespoň na jedné souřadnici, která náleží množině X , případně B , nenulový.

Vlastnosti dilatace:

- Komunikativní: $X \oplus B = B \oplus X$
- Asociativní: $X \oplus (B \oplus D) = (X \oplus B) \oplus D$
- Invariantní vůči posunu: $X_h \oplus B = (X \oplus B)_h$



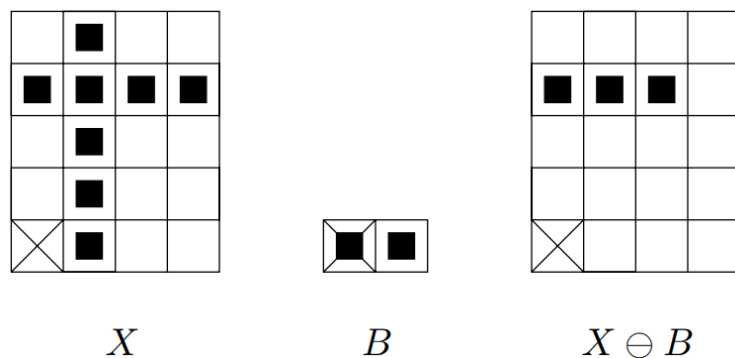
Obr. 27 Příklad dilatace [37]

Eroze

Eroze je duální operace k dilataci, při které dochází k odstranění „slupky“ v obraze, čímž se výsledný obraz zmenší. Erozi lze zmenšit objekt zvětšený dilatací do původního rozměru. Skládá dvě množiny s využitím rozdílů vektorů (eroze je duální transformací k dilataci, nikoli transformací inverzní).

$$X \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq X, \forall s \in S\}$$

Rovnice určuje, že eroze A a B je množina všech bodů z takových, že B posunutý do z náleží do A . Nejpoužívanějším strukturálním elementem je stejně jak u dilatace element 3×3 . [2]



Obr. 28 Příklad eroze [37]

Eroze se využívá ke zjednodušení struktury objektu a složitější objekt se rozdělí na několik jednodušších. Dále je možné eliminovat irelevantní detaily.

Vlastnosti eroze:

- Antiextenzivní: Je-li $(0,0) \in B$, potom $X \ominus B \subseteq X$
- Zachovává inkluzi: Je-li $X \subseteq Y$, potom $X \ominus B \subseteq Y \ominus B$
- Invariantní vůči posunu: $X_h \ominus B = (X \ominus B)_h$; $X_h \ominus B = (X \ominus B)_{-h}$

4 Rozbor a návrh řešení kamerové inspekce

Cílem této práce je doplnění již funkční laserovou svářečkou o HW a SW, který kontroluje kvalitu slícování svařovaných dílů a kvalitu samotného sváru. Ve svářečce se po ručním složení a založení do stroje k sobě svaří dva plastové díly, celkem ve čtyřech místech, viz *Obr. 29*.



Obr. 29 Nesvařený a svařený výrobek

4.1 Požadavky zákazníka

Bylo nutné zajistit, aby každý výrobek splňoval kvalitativní požadavky, které jsou dané maximální mezerou mezi oběma díly a minimální plochou sváru. Dosavadní kontrola pracovníky, kteří obsluhují tuto svářečku, se jevila jako nedostatečná.

Samotná kontrola se skládá ze tří testů, první dva se provádějí před svařením po založení dílu do stroje a třetí test se provede po svaření:

1. Kontrola, zda je výrobek správně založen do stroje.
2. Kontrola jsou-li oba plastové díly správně slícované.
3. Kontrola kvality sváru – výrobek je svařen celkem čtyřmi sváry.

Ve stroji se svařuje celkem deset druhů výrobků, které jsou vždy složeny ze dvou plastových dílů. Jeden díl je vždy černý a druhý transparentní, ale jednotlivé druhy se od sebe liší velikostí a tvarem, což musí návrh řešení akceptovat.

Stroj je řízen pomocí PLC Simatic S7-1200, které řídí celý výrobní cyklus a také bude určovat typ a čas prováděného testu. Po provedení testu je výsledek odeslán do PLC, které určí následující pracovní postup.

4.2 Studie proveditelnosti

Zda je možné zákazníkem definované testy provést, bylo ověřeno testováním na dodaných vzorcích. Při návrhu samotném byl brán ohled na prostorové a finanční možnosti, které koncový zákazník a konstrukce stroje dovolovaly.

- **Kontrola slícování**

Při této kontrole je měřena mezera mezi oběma díly, proto bylo nutné navrhnout nasvícení a umístění kamery tak, aby tato mezera byla dobře patrná, viz *Obr. 30*.



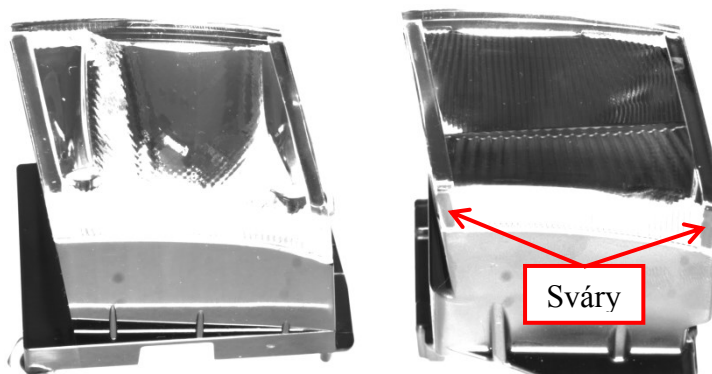
Obr. 30 Detekce mezery mezi díly

Pro tento test bylo navrženo použití:

- 2 ks - monochromatických kamer Basler acA2500-14gm s objektivem Computar F16
- 2 ks – osvětlovač Effilux EFFI-BL (150 x 200 mm)
- 2 ks – osvětlovač Effilux EFFI-Flex (5 LED)

- **Kontrola sváru**

Touto kontrolou je kontrolována kvalita čtyř svárů.



Obr. 31 Nesvařený (vlevo) a svařený výrobek (vpravo)

Použitím vhodného HW a jeho optimálním rozmístěním je velice dobře patrný rozdíl mezi svařeným a nesvařeným výrobkem, protože svár se jeví jako ohraničená černá plocha, viz *Obr. 31*.

Pro tento test bylo navrženo použití:

2 ks - monochromatických kamer Basler acA2500-14gm s objektivem Computar F25

Osvětlení je stejné, jak již bylo navrženo v předchozím testu.

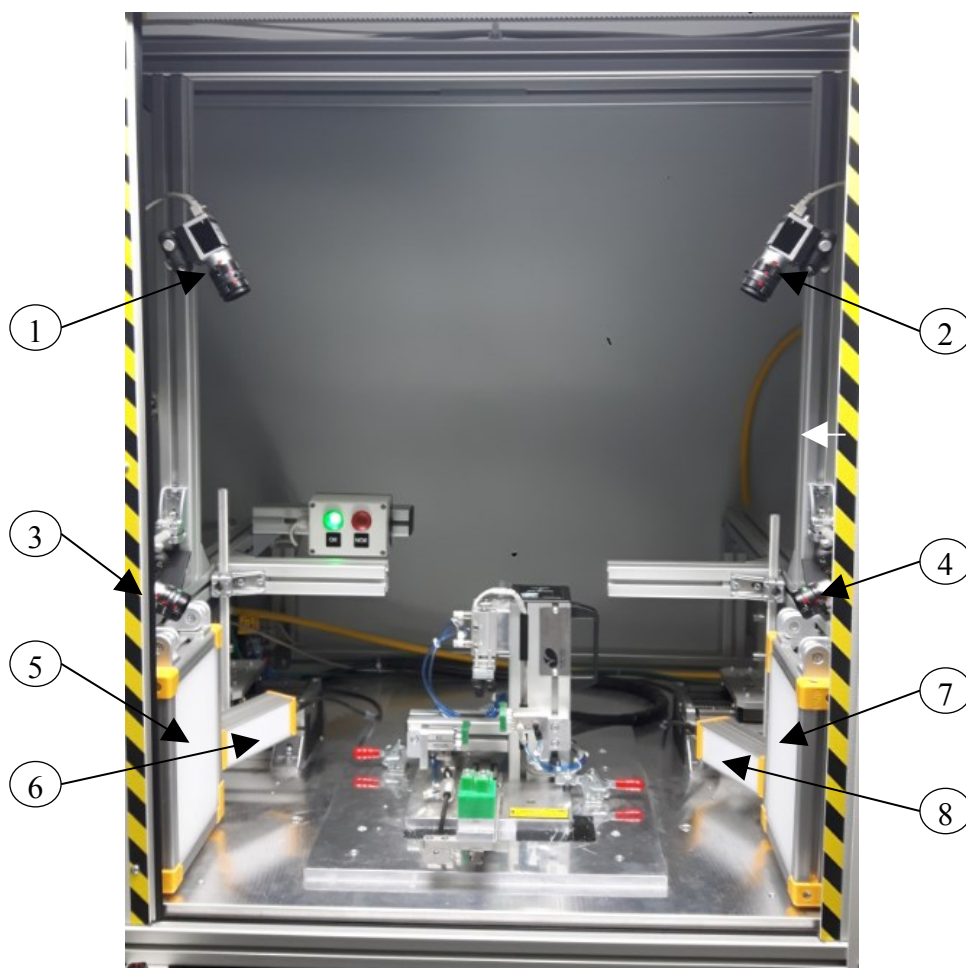
- **Kontrola založení**

Tato kontrola je prováděna jednou z kamer pro kontrolu sváru, která dává komplexní přehled o založeném kusu.

4.3 Návrh snímané scény

Protože obrazová inspekce je doplňována do již fungujícího stroje, bylo nutné při návrhu akceptovat prostorové rozvržení stroje a nezasahovat do pracovních oblastí svařovacích laserů.

Při samotném testování bylo nutné ověřit, zda je návrh scény vhodný pro všech deset typů vyráběných produktů. Konečný návrh (*Obr. 32*), který splňoval všechny požadavky definované zákazníkem, obsahuje čtyři kamery a čtyři světla, které se rozsvěčují podle typu testu a typu výrobku.

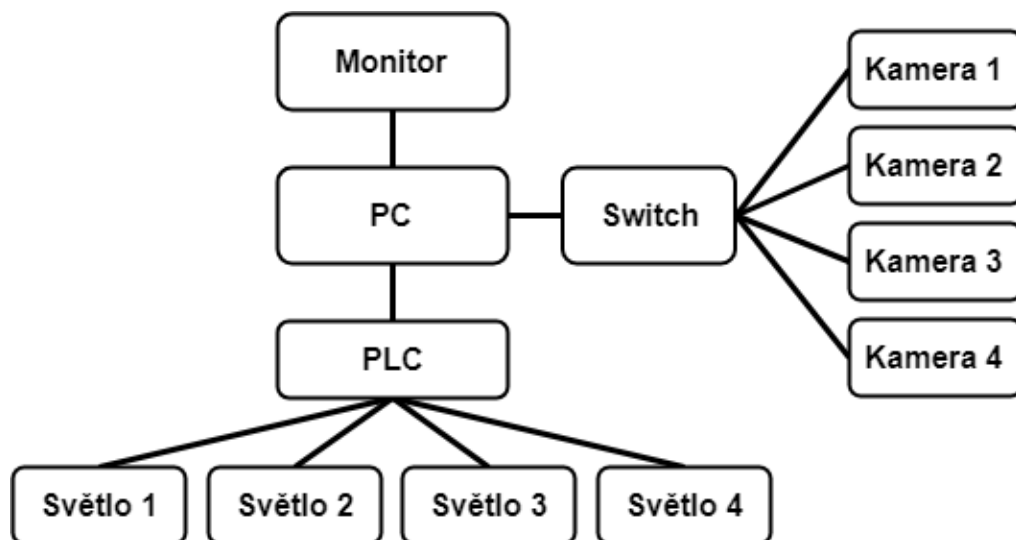


Obr. 32 Pracovní prostor stroje s kamerovou inspekci

- Kamera č.1 – snímání sváru levé strany a kontroly založení
- Kamera č.2 – snímání sváru pravé strany
- Kamera č.3 – snímání mezery mezi díly na levé straně
- Kamera č.4 – snímání mezery mezi díly na pravé straně
- 5. až 8. Světla pro osvětlení výrobku

4.4 HW popis stroje

Obrazová inspekce byla doplněna na stroj, který je již vybavený PC, které nastavuje laserové svářečky používané ke svařování. Na stroj byl pouze doplněn 1GB Ethernetový switch, spojený přes síťovou kartu s PC a čtyřmi kamerami. Světla jsou připojená na digitální výstupy PLC.



Obr. 33 Přehledové schéma

Doplněný HW:

1 ks - Ethernetový Switch: Antaira Technologies typ.: LNP-800AGH-24

4 ks – digitální kamera: Basler acA2500-14gm

2 ks – hlavní světlo: Effilux EFFI-BL (150 x 200 mm)

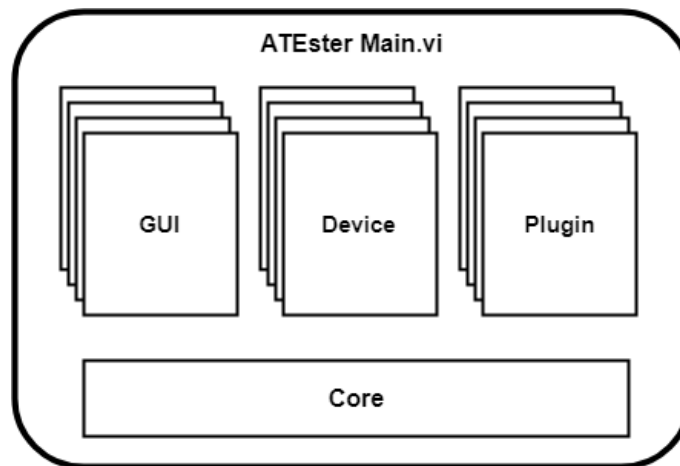
2 ks – pomocné světlo: Effilux EFFI-Flex (5 LED)

5 Návrh a vývoj aplikace

Aplikace ideově vychází z firemní šablony SW, navržené v programovacím jazyce LabVIEW, kterou je nutné pro každý stroj vždy přizpůsobit a doplnit o požadované funkcionality. Výhodou tohoto řešení je, že jsem měl již předem připravené některá graficko-uživatelská rozhraní (GUI), které už zákazník používá na jiných strojích.

5.1 Modularita aplikace

Nespornou výhodou firemní aplikace nazývané ATEster je její modularita. Jednotlivé moduly vycházejí z toho, jakou funkci mají plnit a vzájemně si předávají data pomocí zpráv, které vyvolají požadovanou událost. Aplikace je tedy řízená tokem programových událostí (Event-Driven). Struktura aplikace je naznačená na *Obr. 34*.



Obr. 34 Přehled modulů v aplikaci

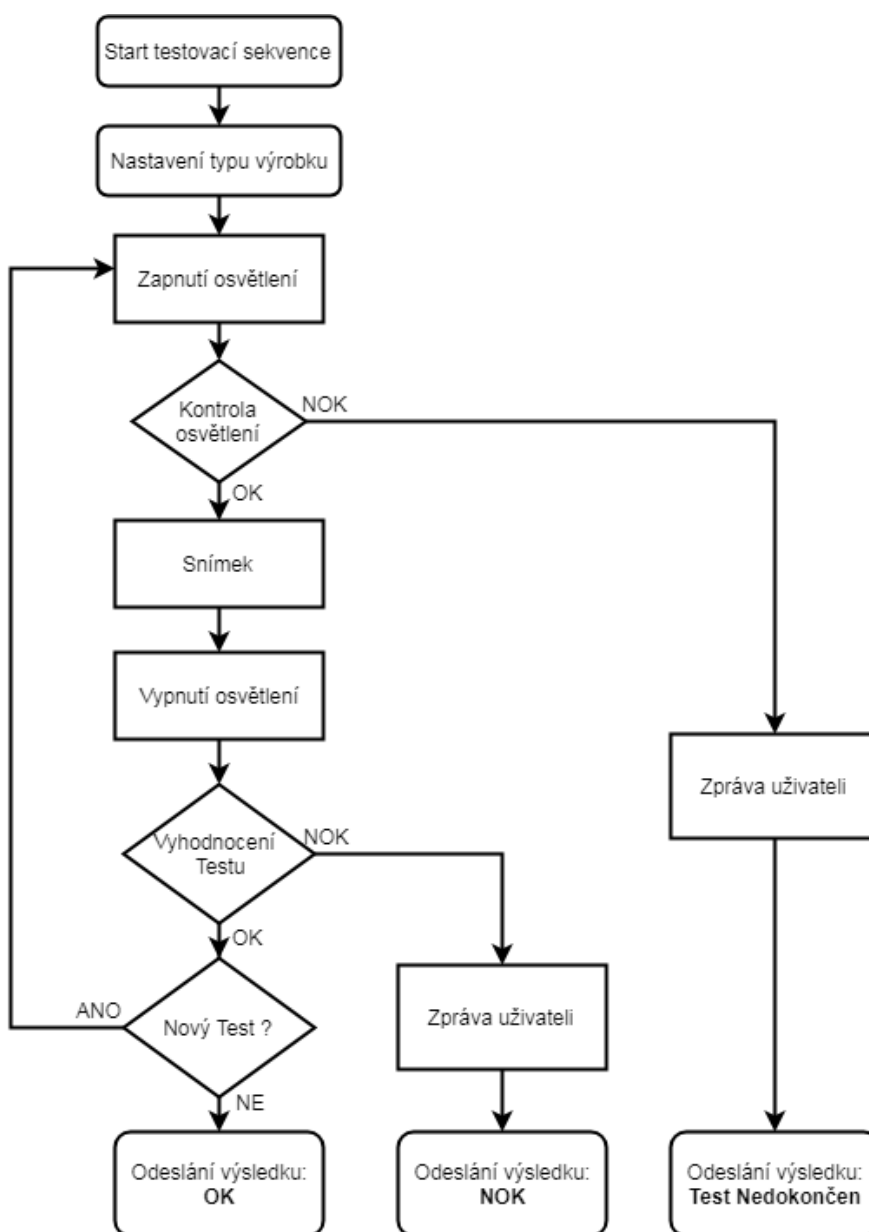
Funkcionalitu celé aplikace zabezpečuje hlavní část programu nazvaná ATEster Main, tato část zastřešuje všechny vnořené moduly a zajišťuje chod celé aplikace. Jednotlivé moduly jsou rozděleny do několika skupin:

- **GUI – grafické uživatelská rozhraní:** obsahuje ovládací prvky a indikátory pro obsluhu aplikace. Jedná se o jediné komponenty aplikace, které jsou za chodu aplikace viditelné na monitoru stroje.
- **Device – zařízení:** tyto bloky se starají o komunikaci s jednotlivými zařízeními (PLC, kamery...)
- **Plugin:** v těchto blocích jsou definované jednotlivé testy (kontrola založení, kontrola sváru...)
- **Core – měřicí jádro:** řídí chod aplikace, od odchycení požadavku pro test, volání jednotlivých testů, zapínání světel, až po odeslání výsledku do PLC.

5.2 Vývojový diagram aplikace

Podle požadavku zákazníka, byla navržena struktura testu, která je patrná z *Obr. 35*. Povel pro spuštění testovací sekvence je vždy z PLC, které řídí chod celého stroje. Po spuštění již ale samotná inspekční aplikace rozhoduje, které testy a v jakém pořadí se budou vykonávat.

Po spuštění testovací sekvence je nastaven typ kontrolovaného výrobku, tato informace je po startu vyčtená z PLC. Nyní jsou zapnuty osvětlovače, které jsou pro vyráběný typ a druh testu definované v inicializačním souboru. Požadavek na zapnutí daných osvětlovačů je odeslán do PLC a jejich zapnutí je ověřeno signály z PLC. Pokud nedojde k zapnutí požadovaného osvětlovače v definovaném čase, je o tom na monitoru uživateli zobrazená zpráva a do PLC je odeslaná informace, že test není možné dokončit.



Obr. 35 Struktura testovací sekvence

Pokud zapnutí osvětlení proběhne v pořádku, pořídí se snímek výrobku a osvětlovače se vypnou. Nyní proběhne vyhodnocení podle nastavených limitů. Jestliže test dopadne s výsledkem NOK, je testovací sekvence ukončena a do PLC je odeslána informace o NOK výsledku a taktéž uživateli je opět na monitoru zobrazená zpráva, o který test se jedná a jeho výsledek.

Jestliže test skončí s výsledkem OK, následuje další test a celá sekvence se opakuje. Po dokončení posledního testu je testování ukončeno a do PLC je odeslána informace o výsledku a aplikace „čeká“ na další spuštění.

Samotné sekvence testu lze rozdělit na:

- Testy před svařováním
- Testy po svaření

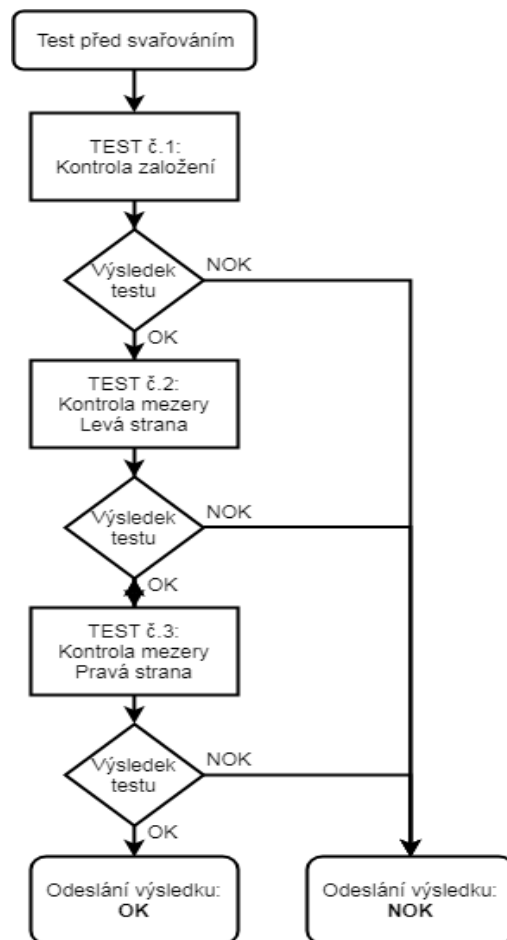
5.3 Testy před svařováním výrobku

Před svařováním jsou postupně vykonány tři testy:

1. Kontrola založení – ověření zda je výrobek správně vložen do stroje
2. Kontrola mezery na levé straně výrobku
3. Kontrola mezery na pravé straně výrobku

Při každém testu se provede rozsvícení definovaných světel se zpětnou kontrolou v PLC, jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole **5.2 Vývojový diagram aplikace**. Po spuštění testu je proveden test č.1, kde je kontrolováno správné založení svařovaných součástek do stroje. Pokud tento test dopadne s výsledkem OK, následuje test č.2, který kontroluje mezeru mezi součástkami na levé straně ve dvou místech. Pokud jsou naměřené hodnoty v nastavených limitech, následuje měření na pravé straně, taktéž ve dvou místech. Jestliže jsou i tyto dvě naměřené hodnoty v nastavených limitech, test je ukončen s výsledkem OK, na monitoru je zobrazen čas trvání celého testování a do PLC je odeslán výsledek testu a PLC pokračuje v pracovním cyklu. Pokud je kterýkoliv test ukončen s výsledkem NOK, testovací sekvence je ukončena, na monitoru je zobrazeno o jaký test se jedná a pracovní cyklus PLC je ukončen, viz *Obr. 36*.

Pořadí testu a to, zda se vůbec budou vykonávat je možné separátně pro kterýkoli typ výrobku měnit a to v konfigurační části aplikace nebo v inicializačním souboru pro daný typ výrobku. Tyto změny může provádět pouze přihlášená obsluha stroje s potřebnými právy pro tyto zásahy (technolog).



Obr. 36 Struktura testu před svařením

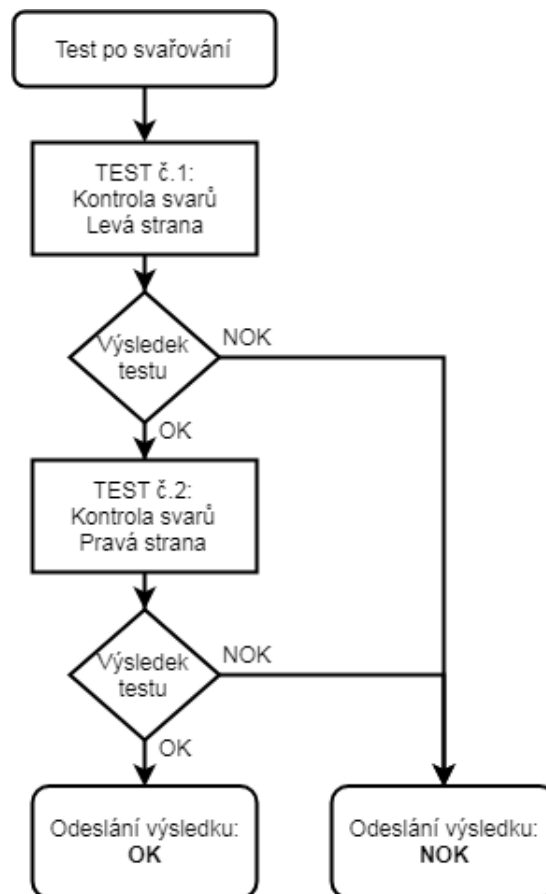
Limity pro jednotlivé testy se taktéž nastavují v konfigurační části aplikace a to separátně pro daný typ výrobku. Také je možné v této části aplikace vypnout kterýkoliv test.

5.4 Testy po svařování výrobku

Po svaření se vykonají dva testy:

1. Kontrola svárů na levé straně výrobku
2. Kontrola svárů na pravé straně výrobku

Strukturou je tento test velice podobný testu před svařením, rozdíl je pouze v počtu a druhu testu. Po spuštění testu se po kontrole zapnutých osvětlovačů provede kontrola dvou svárů na levé straně výrobku. Pokud jsou vyhodnoceny sváry jako OK, následuje kontrola dvou svárů na pravé straně. Po ukončení testovací sekvence je na monitoru opět zobrazen čas sekvence a do PLC je odeslán výsledek testu.



Obr. 37 Struktura testu po svaření

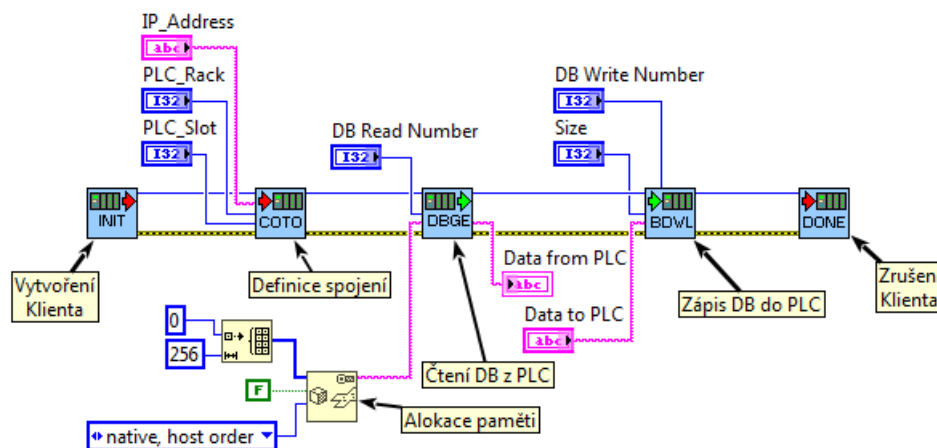
Taktéž limity těchto testů lze upravit nebo testy zcela vypnout v konfigurační části aplikace.

5.5 Komunikace mezi PC a PLC

Hlavním řídicím systémem stroje je PLC, které ovládá všechny funkcionality stroje. PC s kamerovými testy je v případě požadavku na test „zavoláno“ z PLC a po dokončení testu je do PLC odeslán výsledek testu.

Princip komunikace mezi PC a PLC

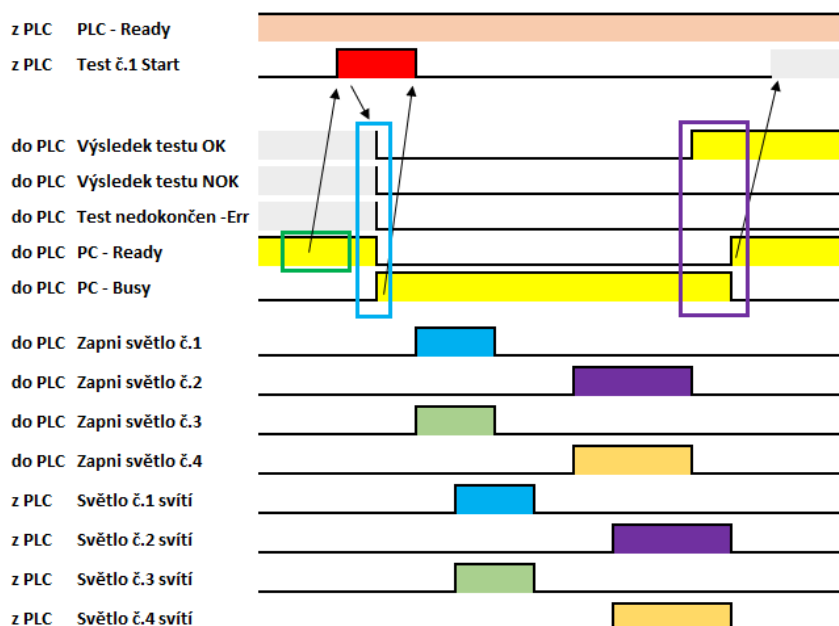
Počítačová aplikace je propojena s PLC pomocí Ethernetového rozhraní, které pracuje na komunikačním protokolu TCP IPv4. Samotná komunikace probíhá přes binární sdílenou proměnnou, která je v PLC reprezentována jako datový blok, ke kterému PC přistupuje. Přístup je umožněn díky opensource knihovně SNAP 7, s úplným zdrojovým kódem, který je uživatelsky modifikovatelný v programovacím jazyce C++. V LabVIEW je pro tyto funkce vytvořená knihovna, která přistupuje ke zkompileované dynamické knihovně DLL. Postup využití knihovnických funkcí v programovacím jazyce LabVIEW je zobrazen na *Obr. 38*.



Obr. 38 Návrh čtení a zápisu datových bloků v PLC

Návrh komunikace mezi PC a PLC

Na Obr. 39 je vykreslen sled výměnných signálů mezi PLC a PC pro test, který končí výsledkem OK. Podmínkou pro spuštění testu je, že PC je připraveno (Obr. 39 - zelená oblast), po příchodu požadavku na kamerový test (Test č.1 Start) aplikace vynuluje všechny tři možné výsledky, pokud byl některý zapnutý a přepne signál z PC – Ready na PC – Busy (Obr. 39 - modrá oblast). Nyní probíhají kamerové testy a PC dle potřeby zapíná světla. Po každém zapnutí světla se čeká na odpověď z PLC, že dané světlo svítí. Po dokončení testu (Obr. 39 - fialová oblast) je odeslán do PLC signál Výsledek testu OK a přepnou signál z PC – Busy na PC – Ready a kamerový systém čeká na další spuštění a celá sekvence se opakuje.

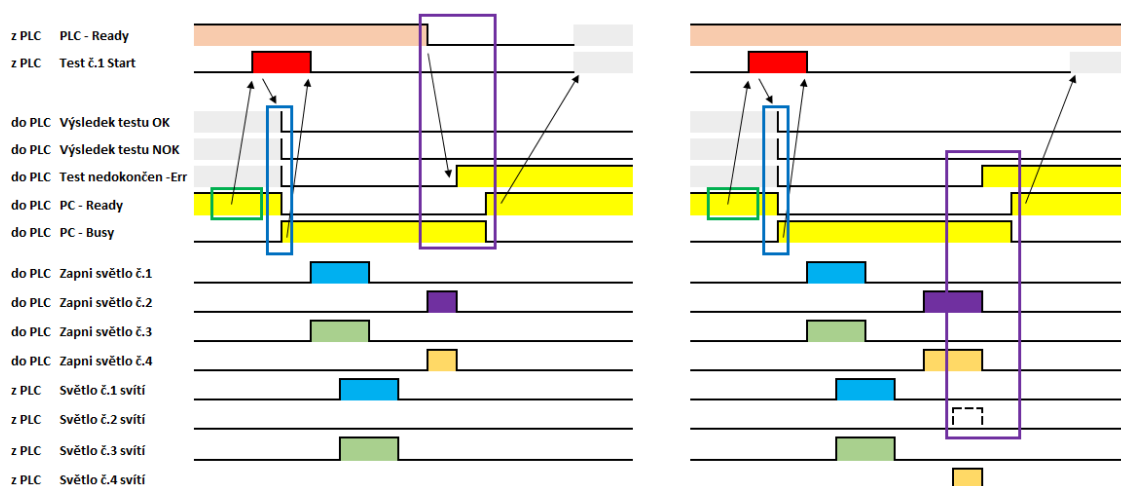


Obr. 39 Přehled binárních signálů mezi PLC a PC

Na Obr. 40 (vlevo) jsou vykreslené signály pro test končící chybou, kde je vidět, že ve fialově vyznačené oblasti byl zrušen signál PLC – Ready, což může být způsobeno např.: přerušením bezpečnostních obvodů. Kamerový test je okamžitě ukončen a do PLC je odeslán výsledek, že test nebyl dokončen.

Na Obr. 40 (vpravo) je zobrazen další možný typ poruch, kdy nedošlo k potvrzení, že světlo č.2 svítí a kamerový test je opět ukončen spolu s odesláním výsledku o nedokončení testovací sekvence.

V případě poruch bude na monitoru uživateli zobrazená zpráva, jaký typ poruchy znemožnil dokončení testu, což povede k rychlejšímu nalezení zdroje poruchy.

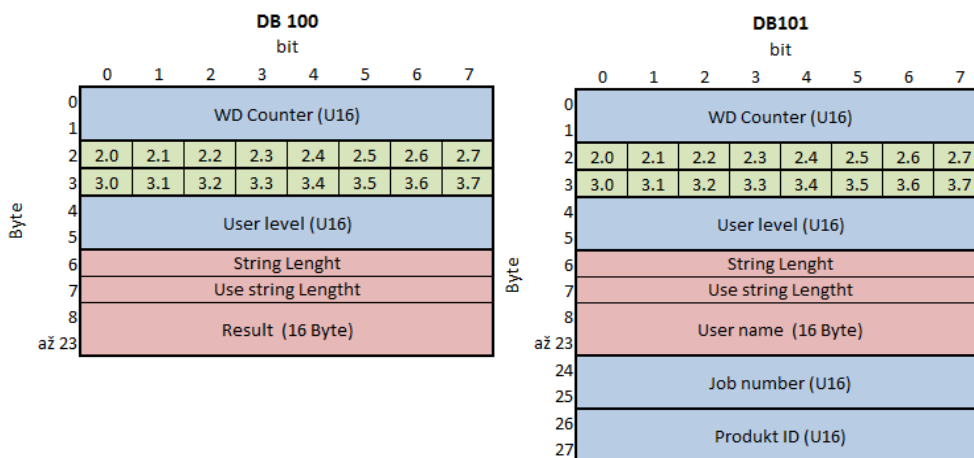


Obr. 40 Testy končící chybou

Struktura datových bloků

Pro řešenou aplikaci byli pro komunikaci s PC vytvořené dva datové bloky:

- DB 100 – pro čtení dat z PLC o velikosti 27 Bytu
- DB 101 – pro zápis do PLC o velikosti 24 Bytu



Obr. 41 Schéma datových bloků v PLC

Z Obr. 41 je zřetelné uspořádání dat v datových blocích sloužících pro komunikaci s PC. První dva Byte slouží jako Watch Dog pro PC, kterým se ověřuje funkční komunikace mezi PC a PLC. Princip je takový, že PLC vyčte hodnotu DB 101, inkrementuje ji o 1 a zapíše hodnotu do DB 100. PC vyčte novou hodnotu z DB 100 a zapíše ji do DB 101, pokud se hodnota v DB 100 stále mění, je pro PC zřejmé, že komunikace mezi PC a PLC se nedostala do chybového stavu. Pokud by hodnota byla po 10s neměnná, je na monitoru zobrazena zpráva uživateli o tom, že komunikace s PLC není v pořádku.

Druhé dva Byty slouží v obou datových blocích pro výměnu bitových informací:

DB 100 (PLC → PC):

bit 2.0 – Start testu č.1	bit 3.0 – Světlo č.1 svítí
bit 2.1 – Start testu č.2	bit 3.1 – Světlo č.2 svítí
bit 2.2 – Start testu č.3	bit 3.2 – Světlo č.3 svítí
bit 2.3 – Start testu č.4	bit 3.3 – Světlo č.4 svítí
bit 2.4 – PLC v automatickém režimu	bit 3.4 až 3.7 – Rezerva
bit 2.5 – PLC v ručním režimu	
bit 2.6 a 2.7 – Rezerva	

DB 101 (PC → PLC):

bit 2.0 – Výsledek testu OK	bit 3.0 – Zapni světlo č.1
bit 2.1 – Výsledek testu NOK	bit 3.1 – Zapni světlo č.2
bit 2.2 – Kamerový test - Porucha	bit 3.2 – Zapni světlo č.3
bit 2.3 – Kamerový test - Připraven	bit 3.3 – Zapni světlo č.4
bit 2.4 – Kamerový test - Probíhá	bit 3.4 až 3.7 – Rezerva
bit 2.5 – Kamerový test – Ruční režim	
bit 2.6 a 2.7 – Rezerva	

Na 4 a 5 Bytu obou datových bloků jsou číslem definovaná práva uživatele (0=Nepřihlášen, 1=Bez oprávnění, 2=Operátor, 3=Seřizovač, 4=Administrátor, 5=Servis).

Další proměnná v obou datových blocích je datového typu string (textový řetězec) o délce 16 znaků, kde každý znak zabírá 1 Byte. Pro PLC je nutné ještě doplnit 2 Byty před samotný string, což je vidět na Obr. 41. 1 Byte definuje maximální počet použitelných znaků a 2 Byte definuje počet skutečně použitých znaků. PLC zobrazuje v DB 101 jméno uživatele a PC v DB 100 parametry výsledky testu.

V DB 101 na Bytu 24 a 25 PLC zobrazuje číslo vyráběného typu výrobku, podle kterého bude vybrána potřebná konfigurace kamerového testu.

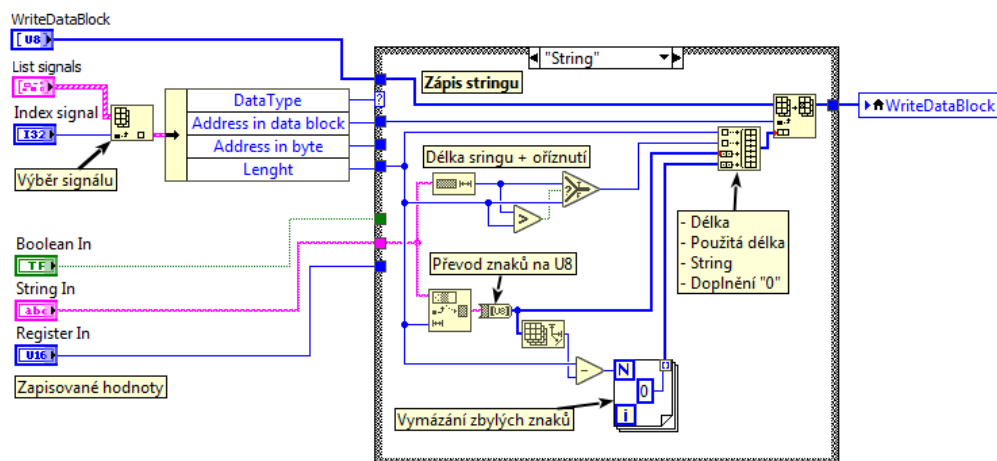
Poslední položka v DB 101 na Bytu 26 a 27 PLC zobrazuje ID číslo kontrolovaného výrobku.

Příprava datového bloku pro PLC

Jak již bylo zmíněno v části **Struktura datových bloků** je datový blok pro PLC tvořený třemi datovými typy:

- Bool (datový formát bit, obsahující informaci typu pravda / nepravda)
- registr (číslo s formátem U 16)
- string (textový řetězec fixní či dynamické délky)

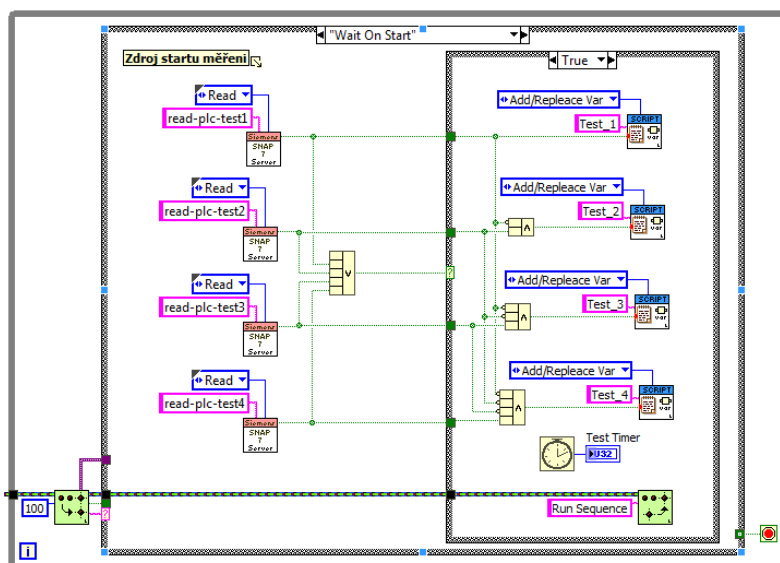
Na Obr. 42 je ukázka části kódu, který vytváří správný formát položky datového bloku. Pro PLC je vždy v prvním Bytu definován maximální počet znaků a v druhém Bytu je počet použitých znaků. Je-li zapsán string s větším počtem znaků než je rezervováno v datovém bloku, je patrné z popisu ukázky kódu, že dojde k „odříznutí“ přebytečných znaků.



Obr. 42 Zápis signálu typu string

5.6 Spuštění testovací sekvence

Po spuštění aplikace proběhne inicializace kamer a navázání spojení s PC. Nyní aplikace „čeká“ na startovací signál z PLC ve smyčce měřicího jádra (viz **5.1 Modularita aplikace**). Na Obr. 43 je vidět programový diagram stavu „Wait On Start“, kde v levé části probíhá v intervalu 100ms neustálá kontrola, zda PLC nepožaduje jeden ze čtyř testů. Pokud PC obdrží požadavek k testu, je tento požadavek zapsán do skriptové proměnné a aplikace pokračuje do stavu „Run Sequence“.

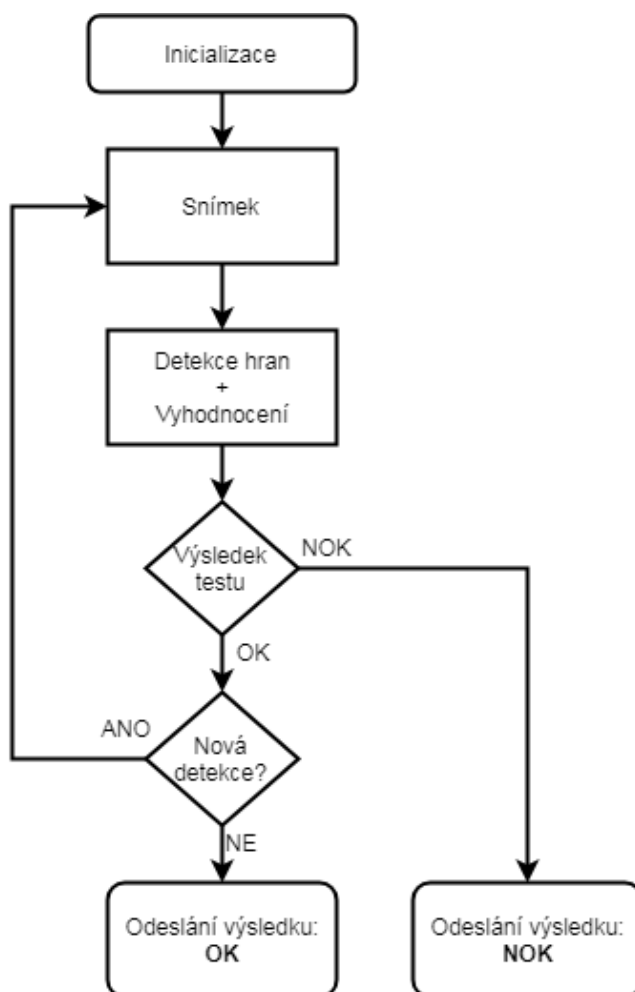


Obr. 43 Start testu

Aplikace je připravena pro spuštění čtyř testů, ale probíhat může vždy jen jeden. Proto je ošetřeno, že při požadavku na provedení více testů má prioritu test s nižším číslem. Tato kontrola slouží jako ošetření hazardních stavů v případě špatného spouštění z nadřazeného řídicího systému.

5.7 Test měření mezery

Test měření mezery slouží k měření mezery mezi dvěma svařovanými díly a probíhá ještě před svařením. Měření probíhá z levé a pravé strany výrobku a to vždy ve dvou místech. Výsledek měření je požadován v mm, proto musí být obě kamery pro tento test kalibrované. Blokový diagram testu je na Obr. 44.



Obr. 44 Blokový diagram měření mezery

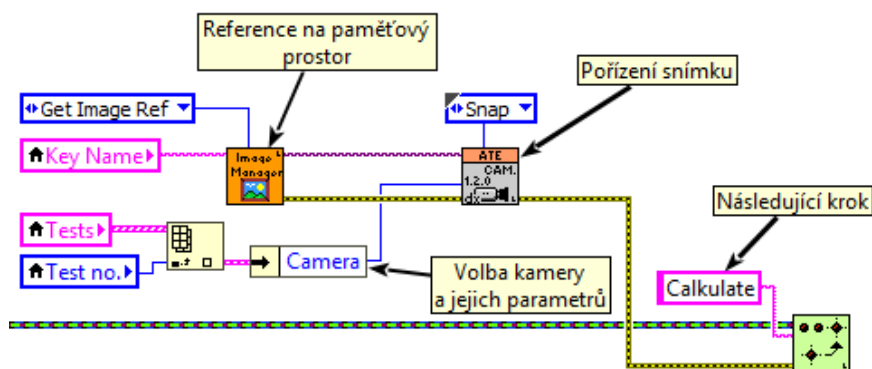
Princip měření spočívá v nalezení hrany v definované oblasti, shora směrem dolů a následně v trajektorii rovné ekvivalentnímu vektoru se záporným znamínkem. Pořadí hledání lze změnit v inicializačním souboru testu. Rozdíl mezi těmito hranami určuje vzdálenost mezi částmi výrobku, který je přepočítán na mm.

Modul provádějící tento test je tvořen těmito základními částmi:

- Inicializace paměťového prostoru a pořízení snímku
- Zpracování snímku a výpočet mezery
- Vykreslení oblastí zájmů, nalezených bodů a hodnoty mezery včetně limitu do obrázku
- Odeslání výsledků

Pořízení snímku

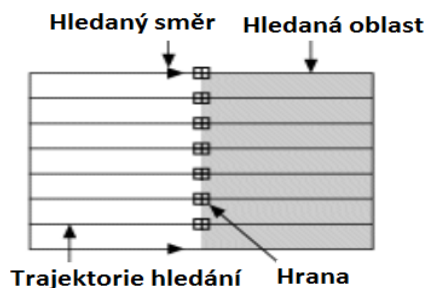
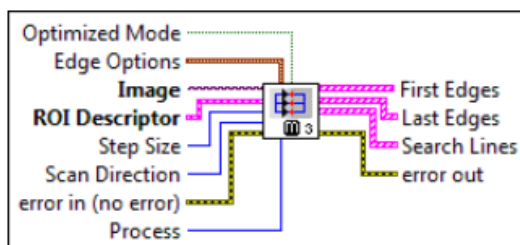
Na Obr. 45. je zobrazená část kódu, která zajišťuje pořízení snímku. Nejprve je vytvořen paměťový prostor pro budoucí snímek, z testovacích parametrů (Tests) je podle čísla vykonávaného testu vybrána kamera s žádanými parametry. Po pořízení snímku pokračuje program do další části nazvané „Calculate“.



Obr. 45 Pořízení snímku

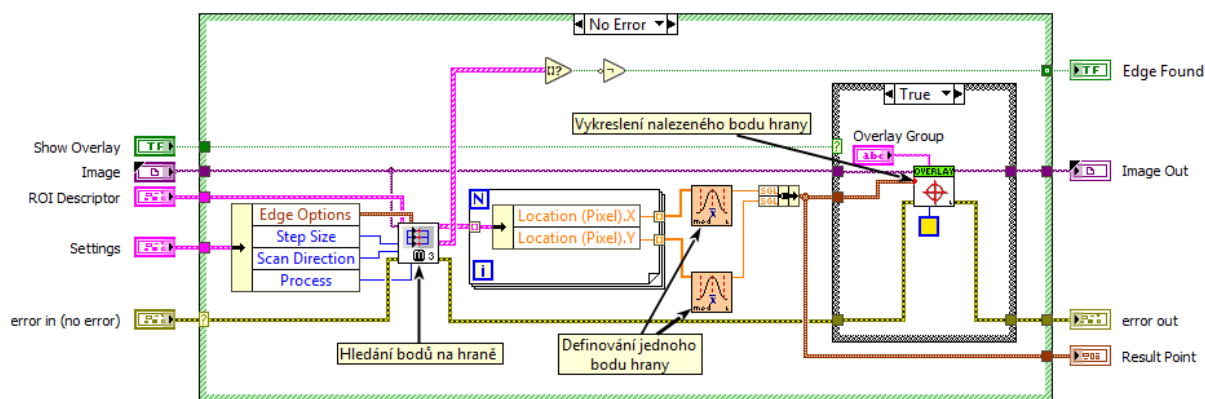
Hledání hrany

Pro samotné hledání hrany je použita předpřipravená funkce NI: IMAQ Rake 3, která vyhledává body hrany v definované oblasti na základě jejich kontrastu a sklonu. Vstupní a výstupní parametry včetně nákresu principu jsou zobrazeny na Obr. 46. Funkce je vytvořená v dynamické knihovně DLL, která spojuje více programovacích jazyků dohromady. Kód samotné funkce je nepřístupný v LabVIEW a nelze jej upravovat.



Obr. 46 Funkce NI: IMAQ Rake 3

Použití v programu je zobrazeno na *Obr. 47*, kde vstupní hodnoty jsou vyčteny z inicializačního souboru. Z výstupních hodnot jsem použil hodnotu „First Edge“, z které jsem ve smyčce „For“ vytvořil dvě pole souřadnic pro nalezené body, zvlášť pro souřadnice X a Y. Dále v takto definovaných polích vypočítám průměrnou hodnotu pro každou souřadnici a spojím je do klastru¹. Proměnná vytvořeného klastru je jednou z výstupních hodnot tohoto subVI a nese hodnotu souřadnice (x, y) nalezené hrany. Podle této souřadnice je také vykreslená značka do obrázku, pokud je to požadováno (pravá část *Obr. 47*). Dalším použitým výstupem je „Search Lines“, která je následně převedena na bitovou hodnotu podle toho, zda obsahuje data. Tato binární proměnná „Edge Found“ určuje, zda byla v obrázku nalezená hrana. To, zda byla hrana nalezena, je důležitou informací, protože nenalezení hrany je pro danou aplikaci ideálním stavem, protože oba kontrolované díly jsou velice přesně slicované. Posledním využitým výstupem funkce IMAQ Rake 3VI je „error out“, který následně prochází dalším subVI, kde podmínkou pro výpočet je korektní projití předchozích funkcí, tedy že funkce neskončily chybou, a také je součástí výstupu.



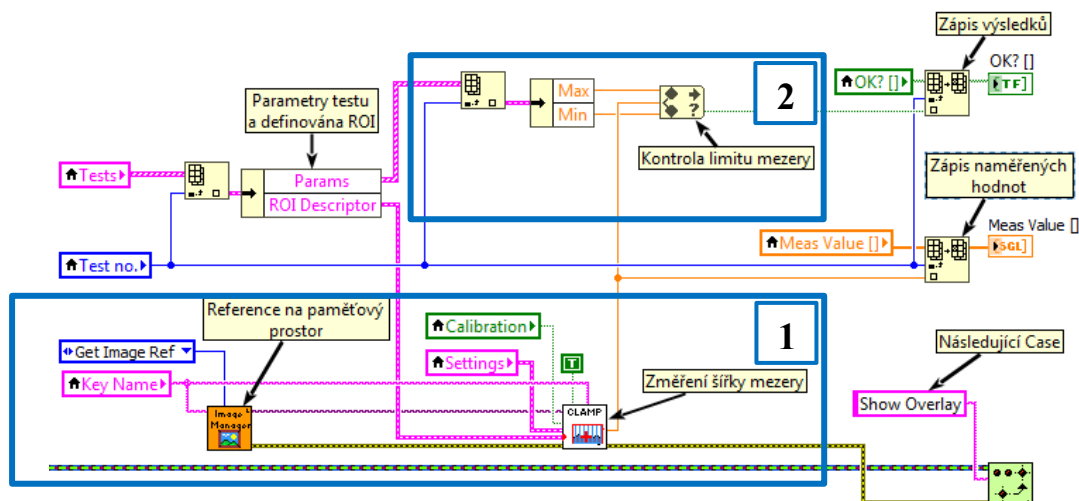
Obr. 47 Hledání hrany

Výpočet mezery

Tato část programu hledá a počítá mezeru mezi oběma částmi výrobku. Část tohoto kódu je opět vykreslen na *Obr. 48*. V části 1 je provedena reference na paměťový prostor obrázku a následně jsou v dalším podprogramu nalezené hrany v definovaných oblastech zájmu. Oblasti zájmu jsou získány z testových parametrů (Tests). Parametry pro samotné vyhledávání hran se získávají z inicializačního souboru (Settings), podle klíče s názvem testu (Key Name). Výsledkem tohoto podprogramu je šířka mezery v mm. Pokud je nalezena pouze jedna hrana nebo žádná, je výsledek stanoven na nulu, protože slicování obou výrobku je velmi dobré.

V části 2 na *Obr. 48* je prováděno porovnání výsledku mezery s limity stanovenými parametry pro daný test. Výsledky obou zmiňovaných částí jsou v pravé části kódu zapsány do výsledkových polí a volána další část kódu „Show Overlay“.

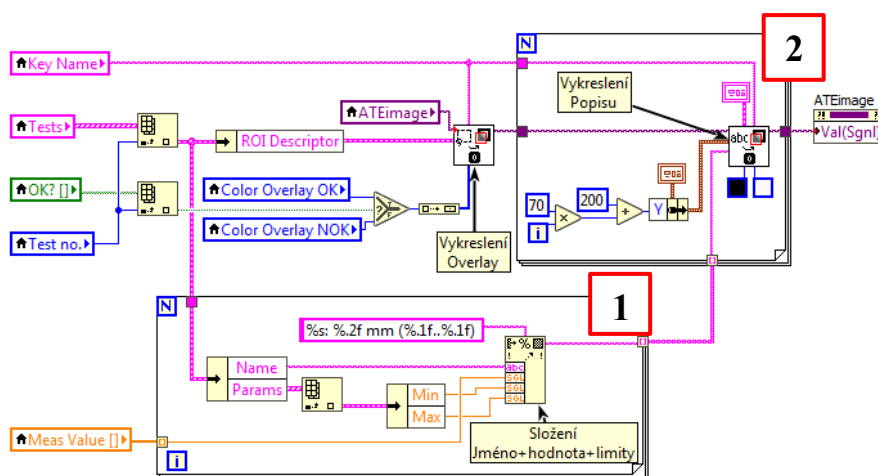
¹ Výčtový datový typ, obsahující elementy základních datových typů.



Obr. 48 Výpočet mezery

Vykreslení dat do obrázku

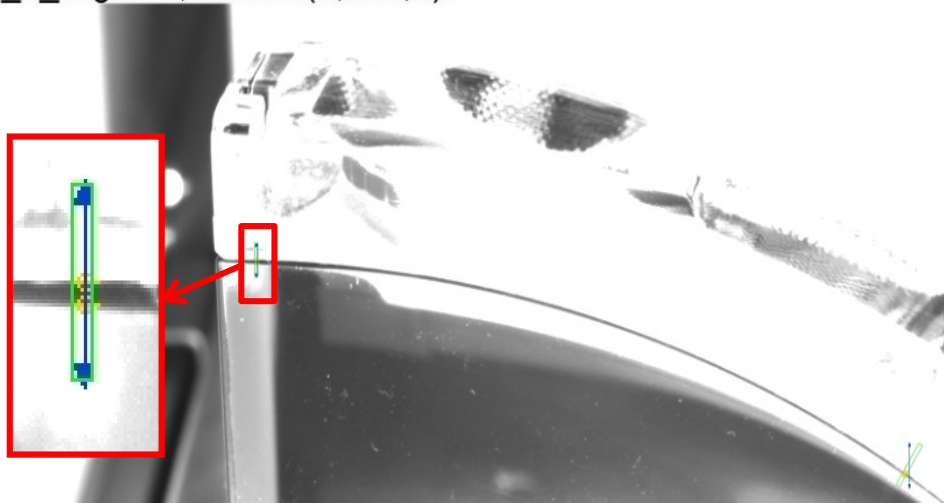
Na Obr. 49 je zobrazená část kódu, která se stará o vykreslení oblasti zájmu a popisu testu, včetně naměřených dat a limitu do obrázku. Ve smyčce č. 1 se připraví pole s počtem prvků odpovídajícím počtu měření v obrázku. Každý prvek tohoto pole obsahuje informaci o názvu testu, výsledku měření a limitech pro dané měření. V podprogramu před smyčkou 2 se vykreslí všechny oblasti zájmu pro daný testovací obrázek. Barva vykreslení zaleží na tom, jak daný test dopadl, pro Ok výsledky zeleně, pro NOK výsledky červeně. Ve smyčce 2 se také vykreslují připravená data ve smyčce 1, je zde možné zvolit formát, barvu písma a barvu podkladu. Jednotlivé popisy jsou vždy řazeny pod sebou.



Obr. 49 Vykreslení dat do obrázku

Na Obr. 50 je ukázka, jak tyto vykreslená data vypadají. Ve zvětšeném výřezu jsou vidět obě nalezené hrany, směry hledání hran, a protože oblast zájmu má zelenou barvu je zřejmé, že naměřená mezera je v nastavených limitech. V levé horní části jsou vypsány naměřené hodnoty obou měření a nastavené limity.

RS_0_Left: 0,39 mm (0,0..1,0)
RS_0_Right: 0,27 mm (0,0..1,0)



Obr. 50 Ukázka vykreslování dat do obrázku

5.8 Náhled aplikace

Při běhu aplikace je na monitoru zobrazeno hlavní okno akce aplikace (*Obr. 51*). Na horní liště v levé části je vedle loga zobrazena verze aplikace, v pravé části je zobrazen datum, čas a název stroje. Uprostřed horní lišty je vidět zvolená konfigurace dle vyráběného typu výrobku. V levé části dolní lišty je tlačítko pro vstup do konfigurace, vstup je podmíněn přihlášením uživatele, který má práva pro úpravu konfigurací. Přihlášený uživatel je zobrazen vedle tlačítka konfigurace. V pravé části dolní lišty je tlačítko pro vstup do menu aplikace.

V části A je zobrazený obrázek posledního testu, který aplikace vyhodnocovala a tlačítka pro přibližování a oddalování obrázku, včetně možnosti jeho uložení na dialogem určené místo.

Část B zobrazuje strom aplikace, kde jsou vypsány všechny testy posledního měření a po rozkliknutí se zobrazí naměřené parametry a doba trvání testu. Pokud je výsledek testu OK je jeho název napsán zeleně a pro NOK test červeně.

V části C jsou s časovou značkou vypisovány akce aplikace, které jsou součástí logování.

Poslední část D zobrazuje celkový výsledek všech testů, pro OK výsledek podbarvený zeleně, NOK výsledek červeně a test dokončený s chybou žlutě. Dále je v této části zobrazena statistika vyrobených OK a NOK kusů s celkovou délkou vykonaných testů.



Obr. 51 Hlavní okno aplikace

Náhledy všech oken, včetně popisu ovládání a postupu pro nastavení aplikace je popsáno v manuálu stroje, který je součástí elektronické přílohy.

6 Nasazení a odladění vytvořené obrazové inspekce

Nasazení aplikace bylo prováděno na stroj, který byl již zcela funkční a aplikace pro optickou inspekci je pouze určitou nadstavbou. To, že stroj byl již ve výrobním režimu komplikovalo montáž potřebného zařízení na stroj, protože vše bylo nutné koordinovat s pracovním vytížením stroje.

6.1 Montáž HW

Stroj byl osazen čtyřmi kamerami Basler acA2500-14gm a čtyřmi osvětlovači, tak aby rozmístění bylo maximálně podobné navržené scéně dle studie proveditelnosti. Montáž byla komplikována tím, že pracovní prostor je zaplněn mechanismy pro přidržování výrobku a taktéž se nesmělo vstoupit do pracovního prostoru laserových svářeček.

Stroj byl doplněn rámem z hliníkových profilů, na které byly namontovány všechny kamery a osvětlovače a tím se podařilo splnit všechny podmínky, aby stroj mohl nadále bezpečně vykonávat svou činnost, viz *Obr. 32*.

Kamery byly zapojeny do doplněného Ethernetového Switche a ten je dále připojen na síťovou kartu PC. Stroj již byl tímto PC vybaven předem, protože se používá pro nasazení laserových svářeček a byl již parametrizován, tak aby na něm mohla běžet obrazová inspekce.

Osvětlovače byly připojeny dle technické dokumentace na digitální vstupy PLC.

6.2 Nastavení kamer

Pomocí programu „Pylon IP Configurator“ byly postupně na všech kamerách nastaveny IP adresy a programem společnosti NI „Network Devices – Measurement & Automation Explorer“ ověřeno, že komunikace se všemi kamerami je navázána.

Dále bylo na síťové kartě PC povoleno Jumbo paketů a zrušený úsporný režim, aby nedocházelo k odpojování kamer.

Protože zákazník požaduje měření mezery mezi díly v milimetrech, byly obě kamery pro měření mezery kalibrovány.

6.3 Oživení aplikace

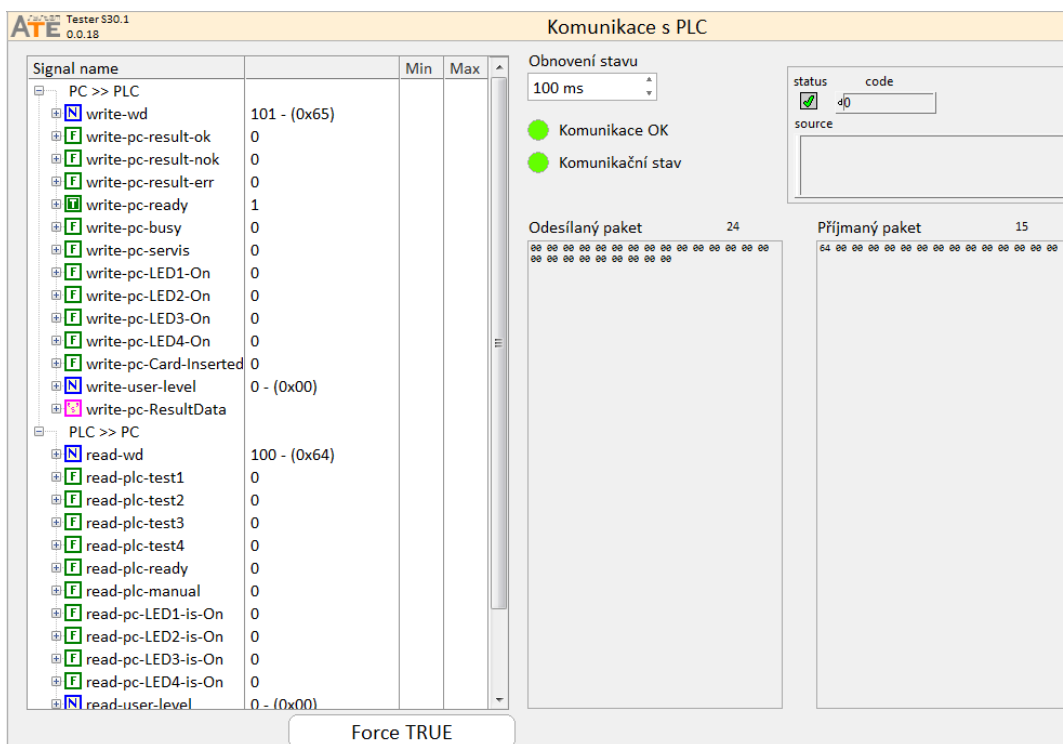
Na PC stroje byl nainstalován od NI „Vision Development Module“, který obsahuje ovladače pro kamery a „Vision Acquisition Software“, obsahující knihovny nutné pro práci s obrazem. Na SW byly zakoupeny licence a bylo provedeno licencování.

Nyní byla nainstalována připravená aplikace a bylo ověřeno, že je možné snímat snímky ze všech kamer.

6.4 Komunikace s PLC

Princip komunikace s PLC je popsán v kapitole: **5.5 Komunikace mezi PC a PLC**, nyní bylo pouze ověřeno simulací, zda všechny výměnné signály mezi PC a PLC jsou správně na obou stranách identifikovány.

Ve vytvořené aplikaci je k tomu účelu okno: „Komunikace S PLC“, kde jsou zobrazeny všechny výměnné signály a signály do PLC lze nastavit na požadovanou hodnotu, viz Obr. 52.



Obr. 52 Komunikace s PLC

V této části aplikace byly postupně simulovány všechny signály odesílané do PLC, kde byly jejich hodnoty ověřeny a taktéž z PLC byli postupně simulovány hodnoty všech signálů a po té ověřeny v aplikaci.

6.5 Parametry pro snímání

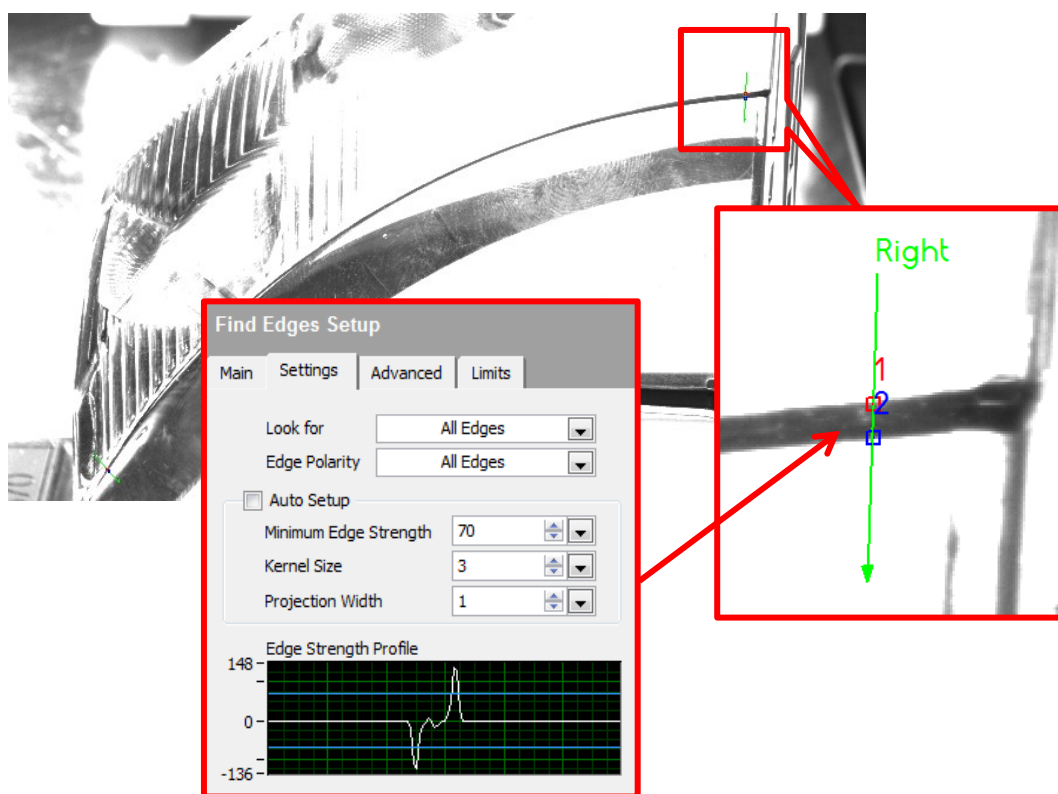
Před nasazením samotné aplikace byl na stroji použit SW, který pouze pořizoval snímky. Tyto snímky sloužili k doladění nastavení pozice kamer a volbě vhodných osvětlovačů tak, aby pro všechny vyráběné typy výrobku byly snímky v kvalitě, která dovolí spolehlivou identifikaci požadovaných parametrů. Postupně byly nasnímány všechny snímky pro každý typ výrobku a nalezeno nastavení, aby hledané detaily ve snímcích byly maximálně identifikovatelné.

Hledání optimálního nastavení bylo značně zdlouhavé pro velké množství kontrolovaných výrobků a počet možných kombinací (čas expozice a použité osvětlovače). Kvalita výsledných snímků, ale byla pro požadované testy velice dobrá.

Během tohoto testování bylo již PLC plně připraveno na optickou kontrolu kvality, proto bylo nutné po každém testu odeslat provizorní OK výsledek.

6.6 Nastavení pro měření mezery

Po cca týdenním provozu byly pořízené snímky prohlíženy v programu Vision Builder. Zde byly prozkoumány postupně pro všechny výrobky parametry hrany v místě, kde bude měřena mezera mezi díly, viz Obr. 53.



Obr. 53 Parametry hrany v programu Vision Builder

Nalezené parametry pro každý typ výrobku byly zapsány do konfiguračních souborů pro daný test. Po té v konfigurační části byli nastavené oblasti zájmu pro měření hrany (ve stejných místech jako v programu Vision Builder – stanoveno zákazníkem) a pro všechny výrobky byla maximální možná šířka mezery v mm. Nastavení bylo ověřeno na hraničních kalibračních kusech, které byly vždy dva, pro každý typ výrobku (OK a NOK). Postupným jemným doladěním všech parametrů bylo provedeno nastavení tak, že všechny kusy byly aplikací správně identifikovány.

6.7 Nastavení pro měření kvality sváru

Při kontrole sváru se využívá ke kontrole té vlastnosti, že dobře svařený svár se opticky jeví jako černý, kdežto špatně svařený jako bílý. Tato optická vlastnost obou svařovaných materiálů byla využita ke kontrole tak, že v definované oblasti (v místě sváru) se vypočítá průměrná hodnota pixelů a v konfiguraci se nastaví pro každý typ výrobku hraniční hodnota sváru, která určí rozdíl mezi OK a NOK výrobkem, viz *Obr. 54*.

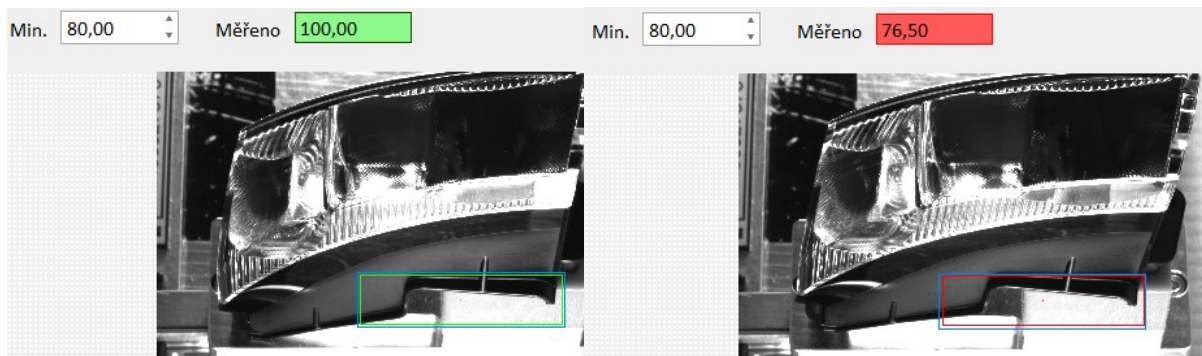


Obr. 54 OK svár (nahore), NOK svár (dole)

Opět i nastavení parametrů tohoto testu bylo postupně odladěno a otestováno na všech typech výrobků s dodanými kontrolními OK a NOK kusy tak, aby výsledek testu byl vždy správný.

6.8 Kontrola založení

Pro kontrolu správného založení se používá funkce „Pattern Matching“, kde se provádí kontrola v oblasti zájmu s naučeným vzorem a dle nastaveného parametru procentuální shody je rozhodnuto, zda je založení výrobku do stroje provedeno správně či nikoli. Na *Obr. 55* je porovnáno správné a nesprávné založení výrobku do stroje, rozdíl je nejvíce patrný v levé spodní části výrobku.



Obr. 55 Správně založený (vlevo) a nesprávně založený výrobek (vpravo)

Taktéž i u tohoto testu byly naučené vzory a nastaveny limity shody pro všechny konfigurace.

6.9 Nasazení aplikace

Po nastavení parametrů a limitů pro všechny testy ve všech konfiguracích byla aplikace spuštěná do ostrého provozu, aby kontrolovala všechny kvalitativní požadavky na výrobek.

Teprve plné zprovoznění všech testů ukázalo, že některé zvolené limity bylo ještě nutné upravit. Protože na každém výrobku probíhá celkem devět měření a vše je znásobeno deseti odlišnými typy, konečné sladění všech parametrů bylo časově náročné. Bylo se také nutné přizpůsobit výrobě, která zrovna na svářečce probíhala.

Po konečném nastavení všech limitů, byla zákazníkem provedena kontrola pomocí etalonových vzorků, vždy jednoho OK a jednoho NOK z každého typu, čímž se ověřila funkčnost celé obrazové inspekce.

6.10 Předání zákazníkovi

Všechny komponenty kamerového systému byly zadokumentovány do předávacího protokolu a předány zákazníkovi. Součástí předávky byl i uživatelský manuál pro ovládání aplikace. Taktéž byla předána záloha aplikace s kompletním nastavením a obraz disku PC.

Součástí předávky bylo provedení školení, které bylo zaměřeno jak na výrobu s popisem konfiguračních částí aplikace, tak i na údržbu a hledání možných poruch a jejich odstraňování.

Závěr

Výsledkem této práce je funkční aplikace, která provádí optickou kontrolu na dvou plastových dílech, před a po svaření pomocí laseru. Kompletní řešení v sobě zahrnuje volbu HW prostředků, vytvoření aplikace obrazové inspekce a implementaci na již zcela funkční stroj, aniž by byla jakkoliv omezena jeho funkčnost. Právě tato skutečnost, že se optická kontrola doplňovala na stroj, kde se při jeho výrobě s tímto nepočítalo, částečně komplikovalo výběr HW komponent. Parametry celého systému jsou přesně přizpůsobeny požadavkům zákazníka.

Při výběru komponent jsem také využíval znalostí, jak správně vytvořit kamerový řetězec, což je popsáno v úvodní části této práce. Právě výběr těchto prostředků značně ovlivňuje kvalitu celého řešení, protože je nutné zajistit, aby kontrolované fragmenty výrobku byly kvalitně zachyceny a mohly sloužit jako zdroj kvalitních vstupních dat pro SW komponenty tohoto řešení.

Samotná aplikace vychází z předpřipravené firemní aplikace založené na modulárním systému, což mi umožnilo doplňování komponent pro komunikaci z HW daného systému a vytvoření bloků, které vykonávají testy požadované zákazníkem. Aplikace je vytvořená v grafickém programovacím jazyku LabVIEW, jehož pojetí mi vyhovuje pro svoji názornost a intuitivní používání. Z vytvořeného řešení jsou v práci uvedeny a okomentovány důležité fragmenty vývojových diagramů.

Protože stroj je řízen pomocí PLC a samotný navržený systém plní funkci automatizovaného měřicího systému, část práce je věnovaná samotné komunikaci mezi PC a PLC. Realizace je provedena pomocí Ethernetového rozhraní a komunikace probíhá pomocí sdílené proměnné v PLC za použití knihovny SNAP 7. Díky připraveným grafům popisující princip výměnných signálů zajišťující komunikaci stroje a aplikace optické kontroly, byla přesně stanovená testovací sekvence a při jejím zprovoznování nedošlo k zásadním problémům.

Optické testy přesně akceptují zákaznické požadavky a všechny parametry je možné samostatně nastavovat pro všech deset vyráběných typů výrobku, které se od sebe liší velikostí a tvarem. Právě tato široká škála kontrolovaných výrobků přinesla velkou časovou náročnost pro prvotní optimální sladění použitého osvětlení a nastavení parametrů kamer, aby snímky pro všechny typy výrobku nesly kvalitní informaci, která povede k správné identifikaci požadovaného parametru výrobku. Modularita aplikace umožňuje v budoucnu relativně jednoduchou implementaci dalších požadavků rozšiřující funkcionalitu optických testů.

Vytvořená optická kontrola je již několik měsíců plně nasazena na stroji a po prvotních problémech spočívajících především v hledání optimálního nastavení parametrů pro jednotlivé testy, plně kontroluje kvalitu vyráběných výrobků.

Tato práce byla moje první, která zastřešovala kompletní řešení obrazové kontroly na výrobním stroji a obohatila mně o zkušenosti v této problematice.

Seznam použité a studované literatury

- [1] ŠONKA, Milan a Václav HLAVÁČ. *Počítačové vidění*. Praha: Grada, 1992. ISBN 80-85424-67-3.
- [2] HÁJOVSKÝ, Radovan, Radka PUSTKOVÁ a František KUTÁLEK. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice: učební text : studijní materiály pro studijní obor Měřicí a řídicí technika, Elektronika Fakulty elektrotechniky a informatiky*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2596-0.
- [3] Žídek, J.: *Grafické programování ve vývojovém prostředí LabVIEW*, výuková skripta, VŠB-TU Ostrava 2012.
- [4] BITTER, Rick, Taqi MOHIUDDIN a Matt NAWROCKI. *LabView advanced programming techniques*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, c2007. ISBN 9780849333255.
- [5] JOHNSON, Gary W. *LabVIEW graphical programming: practical applications in instrumentation and control*. New York: McGraw-Hill, c1994. McGraw-Hill series on visual technology. ISBN 0070326924.
- [6] TRAVIS, Jeffrey a Lisa K WELLS. *LabVIEW for everyone*. 2nd ed. /. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. ISBN 013065096X.
- [7] ATE SYSTÉM. *Inteligentní kamery National Instruments: Smart camera NI 1774* [online]. [cit. 2017-10-30]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/national-instruments/smart-camera/>
- [8] *Bayerovy masky od Panasoniku* [online]. Diit, 2013 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/snimac-panasonic-micro-color-splitters>
- [9] *BAYEROVA MASKA* [online]. ATEsystem [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/slovník-pojmu-ve-strojovém-videní/bayerova-mask/>
- [10] *Termovize: Elektromagnetické spektrum* [online]. [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <https://www.e-myslivost.cz/cs/termovize-termokamera-infracervena-kamera-pristroj-pro-detekci-tepla.html>
- [11] ŠEVČÍK, Zbyněk. *Objektiv oko fotoaparátu*. In: *DtPko* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.dtpko.cz/clanky/objektiv-oko-fotoaparatu-dil-prvni/>
- [12] <http://www.fotografovani.cz/vybirame/technologie1/obrazove-problemy-digitalni-fotografie-ii-velikost-senzoru-152923cz?diskuse>

- [13] Kamery ATEsystem: Know-how [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/strojove-videni/>
- [14] Objektivy pro strojové vidění. In: *Analýza obrazu* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/objektivy/>
- [15] GŘEŠ, Tomáš. OBJEKTIVY PRO ŘÁDKOVÉ KAMERY. In: *ATE System s.r.o* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/line-scan-velky-pruvodce-radkovymi-kamerami/dil-2-objektivy-pro-radkove-kamery/>
- [16] PIHAN, Roman. SFÉRICKÁ VADA. In: *Foto román* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: http://fotoroman.cz/glossary/2_sfera.htm
- [17] K čemu je dobrá vinětace? In: *Milujeme fotografii* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <https://www.milujemefotografii.cz/k-cemu-je-dobra-vinetace>
- [18] BAREVNÉ A NIR FILTRY [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/podle-vyrobce/schneider-kreuznach/filtry/barevne-a-nir-filtry/>
- [19] Pásmové filtry. In: *Schneider* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.schneiderkreuznach.com/en/industrial-solutions/industrial-filters/products/filter-types/bandpass/bp-490-180/>
- [20] The Colour Wheel. In: *Tutsplus* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <https://photography.tutsplus.com/tutorials/split-toning-colour-pictures-in-photoshop-theory-and-practice--cms-22568>
- [21] GŘEŠ, Tomáš. KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ VE STROJOVÉM VIDĚNÍ. *Atesystem* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/srovnani-nejpouzivanejsich-komunikacnich-rozhrani-ve-strojovem-videni/>
- [22] *Bright Field and Dark Field Lighting* [online]. OMRON [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <http://www.microscan.com/en-us/resources/know-your-tech/bright-field-and-dark-field-lighting>
- [23] *Novel Illumination* [online]. OMRON, 2010 [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <https://www.vision-systems.com/articles/2010/01/novel-illumination.html>
- [24] Vision-enabled Barcode Readers: Lighting. In: *COGNEX* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: <http://www.cognex.com/what-is/industrial-barcode-reading/vision-enabled-barcode-readers/?pageid=17310&langtype=2057>
- [25] KODYTEK, Pavel. *Absolvování individuální praxe*. Ostrava, 2016. Bakalářská práce. VŠB-TOU. Vedoucí práce Petr Bilík.

- [26] *MATLAB* [online]. 2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [27] *Image Processing Toolbox: Perform image processing, analysis, and algorithm development* [online]. 2018 [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/image.html>
- [28] VISION BUILDER FOR AUTOMATED INSPECTION. *Http://kamery.atssystem.cz/* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://kamery.atssystem.cz/produkty/podle-vyrobcenational-instruments/vision-builder/>
- [29] *Solving a Machine Vision Application with NI Vision Builder for Automated Inspection* [online]. 2010 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/4127/en/>
- [30] *C Sharp* [online]. 2017 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/C_Sharp
- [31] Visualstudio. *Microsoft* [online]. 2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://www.visualstudio.com/cs/>
- [32] Image Processing samples. *Aforgenet* [online]. 2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: http://www.aforgenet.com/framework/samples/image_processing.html
- [33] OpenCV 3.4.1. *OpenCV* [online]. 2018 [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <https://opencv.org/opencv-3-4-1.html>
- [34] ThresholdLocally. In: *Mathworks* [online]. 2016 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/mlc-downloads/downloads/submissions/29764/versions/6/screenshot.png>
- [35] *Co musí umět každý objektiv* [online]. Technět, 2007 [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/co-musi-umet-kazdy-objektiv-aby-fotky-staly-za-to-podrobny-pruvodce-11m-tec_foto.aspx?c=A071108_120848_tec_foto_jlb
- [36] GŘEŠ, Tomáš a Zdeněk ŠEBESTÍK. *ZPŮSOBY NASVÍCENÍ* [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/12626708-Zpusoby-nasviceni-v-pocitacovem-videni-ing-tomas-gres-zdenek-sebestik-atesystem-s-r-o.html>
- [37] *Morfologické operace* [online]. 2010 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://people.ciirc.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/71-3MatMorpholBinCz.pdf>
- [38] *The 3CCD colour advantage* [online]. [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: http://www.adept.net.au/news/newsletter/201203-mar/article_3ccd_colour.shtml

Přílohy

Elektronická příloha na CD:

- **ATEster.zip** – kompletní vytvořená aplikace kamerového systému, včetně všech konfiguračních souborů
- **Manual.pdf** – uživatelský manuál